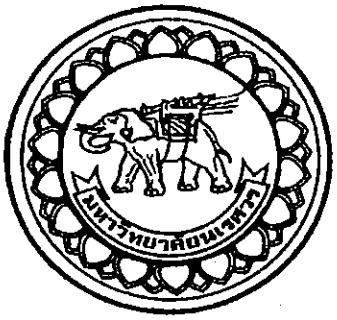


การพัฒนาโปรแกรมออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็ก (มาตรฐาน AISC/LRFD)

Development of Computer Program for Designing of Structural Steel Members (AISC/LRFD standard)

นายณัฐพล คำเมืองมูล

นายวุฒิชัย เมืองมูล

นายอภิชาติ จันทร์คำ

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 14 ก.ค. 2553
เลขทะเบียน ร 50702 11 0.2
เลขเรียกหนังสือ ฝร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2552

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การพัฒนาโปรแกรมออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็ก (มาตรฐาน AISC/LRFD)

ผู้ดำเนินโครงงาน นายณัฐพล คำเมืองมูล รหัสนิสิต 49380769
นายวุฒิชัย เมืองมูล รหัสนิสิต 49381322
นายอภิชาติ จันทร์คำ รหัสนิสิต 49381575

ที่ปรึกษาโครงงาน ผศ.ดร. สสิกรณ์ เหลืองวิชชเจริญ

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2552

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ผศ.ดร. สสิกรณ์ เหลืองวิชชเจริญ)

.....กรรมการ
(ดร.ปฤษทัศว์ ศีตะปันย์)

.....กรรมการ
(ดร.ปรีดา พิชยาพันธ์)

หัวข้อโครงงานวิศวกรรมโยธา	การพัฒนาโปรแกรมออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็ก (มาตรฐาน AISC/LRFD)		
ผู้ดำเนินงาน	นายณัฐพล	คำเมืองมูล	รหัสนิสิต 49380769
	นายวุฒิชัย	เมืองมูล	รหัสนิสิต 49381322
	นายอภิชาติ	จันทร์คำ	รหัสนิสิต 49381575
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผศ.ดร. สสิกรณ์ เหลืองวิชชเจริญ		
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร		
ปีการศึกษา	2552		

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการนี้คือการพัฒนาโปรแกรมช่วยออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็ก ด้วยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุกของสถาบันการก่อสร้างโครงสร้างเหล็กแห่งอเมริกา (AISC/LRFD) โดยใช้ภาษาวิชวลเบสิกในโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล (VBA in Microsoft Excel) สำหรับ ชิ้นส่วนรับแรงดึง ชิ้นส่วนรับแรงอัด และชิ้นส่วนคานเสา การศึกษานี้พบว่าโปรแกรมนี้สามารถช่วยในการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กดังกล่าวได้อย่างถูกต้องและสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้นกว่าการออกแบบด้วยมือโดยวิศวกรทั่วไป

Project Tile	Development of Computer Program for Designing of Structural Steel Members (AISC/LRFD standard)	
Name	Mr.Nattaphon Khammuangmoon	ID.number 49380769
	Mr.Wuttichai Mueangmoon	ID.number 49381322
	Mr.Apichat JhanKum	ID.number 49381575
Project Adviser	ASST. PROF. DR. SASIKORN LEUNGVICHCHAROEN	
Major	Civil Engineering	
Department	Civil Engineering,Faculty of Engineering,Naresuan University	
Academic	2009	

Abstract

The aim of this project is to develop a computer program used for a design of structural steel members, based on Load and Resistance Factor Design method of American Institute of Steel Construction (AISC/LRFD method). The developed program is written by Visual basic language in Microsoft Excel Application (VBA in Microsoft Excel), for tension, compression and beam-column members. It was found that using this program the design of steel members can be performed precisely and faster than manually designed by engineer.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้ประสบผลสำเร็จได้ อันเนื่องมาจาก ผศ.ดร. สสิกรณ์ เหลืองวิชชเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ท่านกรุณาให้คำปรึกษาและแนะแนวทางการแก้ไขปัญหาต่างๆ ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบโครงงาน ซึ่งประกอบด้วย ดร.ปฤษทัศว์ ศีตะปันย์ และดร.ปรีดา พิชยาพันธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้ให้คำแนะนำตรวจสอบโครงการนี้จนสำเร็จเรียบร้อยโดยสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบคุณห้องสมุดคณะวิศวกรรมโยธาและห้องสมุดกลาง ที่ท่านให้ความสะดวกสำหรับการค้นคว้าหาข้อมูลต่างๆ

สุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนิสิตและผู้ประกอบการที่สนใจในเรื่องการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็ก ทุกท่าน

นายณัฐพล คำเมืองมูล
นายวุฒิชัย เมืองมูล
นายอภิชาติ จันทร์คำ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ฉ
รายการสัญลักษณ์	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	5
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน	19
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	28
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผล	36
บรรณานุกรม	37
ภาคผนวก	38
ประวัติผู้เขียน	47

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 องค์อาคารรับแรงดึง	5
2.2 การกระจายแรงของหน่วยแรงอัดในแผ่นบาง	9
2.3 กำลังของเสาประเภทหน้าตัดชะลูด	10
2.4 แสดงกราฟกำลังรับแรงดัดที่ใช้ในโครงงานนี้	14
2.5 ลักษณ์การวิบัติภายใต้แรงกระทำเป็นจุด	15
2.6 ตำแหน่งการเกิดการดรากของเอว	16

มหาวิทยาลัยนเรศวร

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าสัดส่วน b/t สำหรับชิ้นส่วนบางในคาน	7
2.2 ค่าตัวคูณรูปร่างสำหรับแผ่นบางที่ปลายปราศจากการยึดติด (Q_s)	11
2.3 ค่าความกว้างประสิทธิผล (b_e)	12

รายการสัญลักษณ์

A = เนื้อที่หน้าตัด

A_c = เนื้อที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผลรับแรงดึง

A_g = เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด

B_1 = ตัวคูณโมเมนต์วิกฤต เมื่อไม่มีการเคลื่อนที่ด้านข้าง

B_2 = ตัวคูณโมเมนต์วิกฤต เมื่อมีการเคลื่อนที่ด้านข้าง

b_e = ความกว้างประสิทธิผล

b = ความกว้างของแผ่นบาง

C_c = ค่าพิกัดสัดส่วนความชะลูดของเสา

C_m = สัมประสิทธิ์ตัวลดค่าโมเมนต์กรณีมีแรงอัดและแรงอัดกระทำรวมกัน

D = เส้นผ่านศูนย์กลาง

E = โมดูลัสยืดหยุ่น

f_{cr} = หน่วยแรงอัดวิกฤต

F_a = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้

F_e = หน่วยแรงอัดออยเลอร์ , หน่วยแรงอัดอิลาสติกภายใต้การโก่งเดาะเนื่องจากการบิดหรือจากการบิดและอัดรวมกัน

F_u = หน่วยแรงวิกฤต

F_y = หน่วยแรงดราก

h = ความสูงของเอวระหว่างปีกบนและปีกล่าง

I = โมเมนต์อินเนอร์เชีย

K = สัมประสิทธิ์ความยาวประสิทธิผล

K_c = สัมประสิทธิ์ของหน้าตัด กรณีเกิดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของปีก

L = ความยาว

L_b = ความยาวช่วงไร้การยึดด้านข้าง

L_{pd} = ความยาวคานภายใต้โมเมนต์พลาสติกวิเคราะห์ด้วยวิธีพลาสติก

P_e = น้ำหนักบรรทุกออยเลอร์

P_n = กำลังแรงอัดระบุ

Q = แรงเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกใช้งาน , ตัวคูณรูปร่างของแผ่นบาง

Q_a = ตัวคูณรูปร่างของแผ่นบางที่ปลายมีการยึด

Q_s = ตัวคูณรูปร่างของแผ่นบางที่ปลายไร้การยึด

r = รัศมีไจเรชั่นที่น้อย

S = หน้าตัดโมดูลัส , จุดศูนย์กลางการเฉือน

t = ความหนาของแผ่นเหล็ก

T_n = กำลังรับแรงดึงระบุ

T_u = แรงดึงใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว

Z = โมดูลัสพลาสติก

$\varnothing_t$ = ตัวคูณความต้านทานภายใต้แรงดึง

$\varnothing_b$ = ตัวคูณความต้านทานภายใต้แรงดัด

$\varnothing_c$ = ตัวคูณความต้านทานภายใต้แรงอัด

λ_c = พารามิเตอร์ความชะลูดของเสา

λ_p = พารามิเตอร์ความชะลูดของแผ่นบางภายใต้โมเมนต์ M_p

λ_r = พารามิเตอร์ความชะลูดของแผ่นบางภายใต้โมเมนต์ M_r

α = ค่าสัมประสิทธิ์การขยายและหดตัวของเหล็ก

บทที่ 1

บทนำ

วิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (Load and Resistance Factor Design) หรือเรียกย่อๆว่า วิธี LRFD เป็นวิธีการออกแบบโครงสร้างเหล็กที่ได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้นจากวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Stress Design, ASD) วิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (LRFD) ให้ความแม่นยำมากกว่าในการกำหนดน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ออกแบบ ด้วยการจำแนกตัวคูณ สำหรับน้ำหนักบรรทุกระบุแต่ละประเภท และใช้สภาวะวิกฤติของกลุ่มน้ำหนักบรรทุก และวิธี LRFD ยังมีความละเอียดและถูกต้องมากขึ้น ในการกำหนดความต้านทานของโครงสร้าง โดยอาศัยแนวความคิดของสภาวะจำกัด (Limit State) ของโครงสร้าง ซึ่งรวบรวมข้อสรุปจากผลงานวิจัยใหม่ๆเข้ามาไว้ด้วย

สภาวะจำกัดแบ่งเป็น สภาวะจำกัดกำลัง และสภาวะจำกัดการใช้งานได้ดี มาตรฐานการออกแบบโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุกนี้ ให้ข้อกำหนดด้านสภาวะจำกัดกำลังของโครงสร้างเหล็กโดยละเอียด แต่ให้ความยืดหยุ่นแก่ผู้ออกแบบบางส่วน ในการกำหนดสภาวะจำกัดการใช้งานได้ดี

โครงงานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาหลักการออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (LRFD) บน Microsoft Office Excel เพื่อที่จะพัฒนาโปรแกรมสำหรับการคำนวณออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (LRFD) โดยใช้ซอฟแวร์ VBA ใน Microsoft Office Excel เพื่อช่วยให้การออกแบบง่ายขึ้นสามารถที่จะเลือกชนิดและขนาดของเหล็กในการคำนวณออกแบบและมีความถูกต้องรวดเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งโครงงานวิจัย "การพัฒนาโปรแกรมออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็ก ด้วยภาษาวิชวลเบสิกในเอ็กเซล (มาตรฐาน AISC/LRFD)" ฉบับนี้ เป็นไปตาม Load And Resistance Factor Design Specifiction ฉบับปี ค.ศ. 1993 ของ AISC ค่าของตัวคูณน้ำหนักบรรทุกที่กำหนดไว้นี้ เป็นค่าต่ำสุดที่ให้ใช้ได้ ในการออกแบบโครงสร้างเหล็กทั่วไป สำหรับโครงสร้างเหล็กแบบพิเศษอื่นๆ ผู้ออกแบบต้องใช้ค่าตัวคูณน้ำหนักบรรทุกและกลุ่มน้ำหนักบรรทุกที่กำหนดไว้ในมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง ผู้ออกแบบควรใช้ดุลพินิจเพื่อพิจารณาเพิ่มค่าตัวคูณน้ำหนัก ตามความเหมาะสมตามแต่ละโครงการ

1.1 หลักการและเหตุผล

มาตรฐานการออกแบบเหล็กรูปพรรณ โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (LRFD) เป็นวิธีการออกแบบโครงสร้างเหล็กที่ได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้นจากวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ (ASD) วิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (LRFD) ยังมีความละเอียดและถูกต้องมากขึ้นในการกำหนดความต้านทานของโครงสร้าง โดยอาศัยแนวคิดของ สภาวะจำกัด (Limit State) ของโครงสร้าง

โครงงานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาหลักการออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (LRFD) บน Microsoft Office Excel เพื่อที่จะพัฒนาโปรแกรมสำหรับการคำนวณออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (LRFD) โดยใช้ซอฟแวร์ VBA ใน Microsoft Office Excel เพื่อช่วยให้การออกแบบง่ายขึ้นสามารถที่จะเลือกชนิดและขนาดของเหล็กในการคำนวณออกแบบและมีความถูกต้องรวดเร็วยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาโปรแกรมออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กให้สามารถ นำไปใช้ในการปฏิบัติงานได้สะดวก และรวดเร็วยิ่งขึ้น
2. เพื่อเป็นการทบทวน และนำความความรู้ที่ได้จากการเรียนภาคทฤษฎีมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบโครงสร้างเหล็ก

1.3 ขอบข่ายงาน

1. เน้นการศึกษาการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กพื้นฐาน
2. การพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาวิชวลเบสิกในเอ็กเซล

1.4 แผนการดำเนินงาน

เดือน / กิจกรรม	ตุลาคม 1 2 3 4	พฤศจิกายน 1 2 3 4	ธันวาคม 1 2 3 4	มกราคม 1 2 3 4	กุมภาพันธ์ 1 2 3 4
1. การนำเสนอโครงงาน					
2. ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับโครงงาน					
3. ทำการเขียนโปรแกรม					
4. วิเคราะห์ปัญหาที่ เกิดขึ้น					
5. เขียนโครงการ					

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

การออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (LRFD) บน Microsoft Office Excel เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด และสะดวกในการนำไปใช้งาน มีความรวดเร็วเหมาะสมตามความสามารถของซอฟแวร์

1.6 งบประมาณ

- ค่าถ่ายเอกสาร	2,500	บาท
- ค่าวัสดุคอมพิวเตอร์	500	บาท
รวมค่าใช้จ่าย	3 ,000	บาท (สามพันบาทถ้วน)

หมายเหตุ ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 องค์อาคารรับแรงดึง

2.1.1 การออกแบบด้วยวิธี LRFD

เกณฑ์การออกแบบด้านกำลัง

$$T_u \le \varnothing_t T_n$$

โดยที่ $T_u =$ แรงดึงที่เพิ่มค่าแล้ว (factored tensile load)

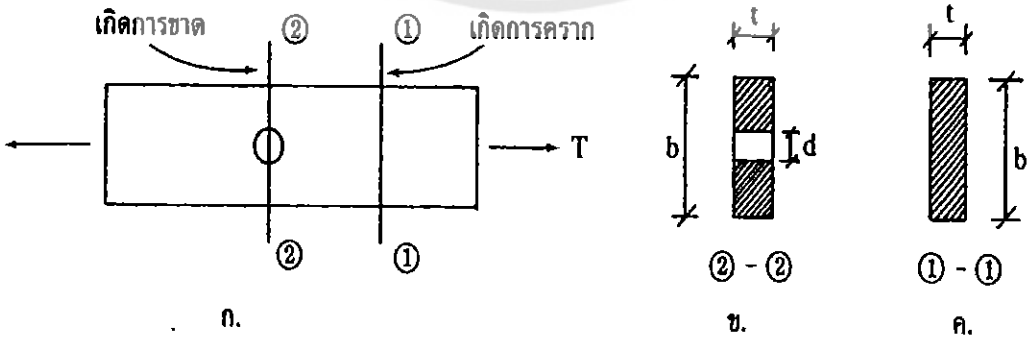
$\varnothing_t =$ ตัวคูณความต้านทานใช้กับองค์อาคารรับแรงดึง

ก. การวิบัติเนื่องจากแรงดึงกระทบบนเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด

$$T_u = \varnothing_t F_y A_g = 0.9 F_y A_g$$

ข. การวิบัติเนื่องจากแรงดึงขาดบนเนื้อที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล

$$T_u = \varnothing_t F_u A_e = 0.75 F_u A_e$$



รูปที่ 2.1 องค์อาคารรับแรงดึง

(ที่มา : หนังสือพฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก ผู้เขียน ศ.ดร.ทักษิณ เทพชาตรี)

2.1.2เกณฑ์การออกแบบด้านสติฟเนส

ถึงแม้ว่าความไม่เสถียรจะไม่ใช่เกณฑ์สำคัญในการออกแบบองค์อาคารรับแรงดึง แต่เพื่อป้องกันไม่ให้องค์อาคารเกิดการไหวตัวได้ง่ายภายใต้แรงกระทำด้านข้าง หรือการสั่นสะเทือน หรือเกิดลักษณะการตกท้องช้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกของตัวเอง จึงจำเป็นต้องกำหนดค่าสัดส่วนความชะลูด (slenderness ratio) L/r สำหรับองค์อาคารรับแรงดึงเป็นหลัก

- ยกเว้นท่อนเหล็กกลม $L/r \leq 300$

โดยที่ $L =$ ความยาว ซม.

$r =$ รัศมีไจเรชั่นที่น้อยที่สุด

$= \sqrt{I/A}$

$I =$ โมเมนต์อินเนอร์เชีย ซม.^{4}

$A =$ เนื้อที่หน้าตัด ตร.ซม

2.2 องค์อาคารรับแรงอัด

2.2.1 ค่าสัดส่วนความกว้างต่อความหนาของแผ่นบางเพื่อป้องกันการโก่งเดาะเฉพาะที่

มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้จำแนกชนิดของหน้าตัดเหล็กไว้ 3 ประเภท คือ

ก. หน้าตัดอัดแน่น (compact section) ได้แก่หน้าตัดเหล็กซึ่งมีค่า b/t ของทุกชิ้นส่วนขององค์อาคารน้อยกว่าค่า λ_p (b/t $\leq \lambda_p$)

ข. หน้าตัดไม่อัดแน่น (non-compact section) ได้แก่หน้าตัดเหล็กซึ่งมีค่า b/t ของทุกชิ้นส่วนขององค์อาคารอยู่ระหว่าง λ_p และ λ_r ($\lambda_p <$ b/t $\leq \lambda_r$)

ค. หน้าตัดชิ้นส่วนชะลูด (slender element section) ได้แก่หน้าตัดเหล็กซึ่งมีค่า b/t ของทุกชิ้นส่วนขององค์อาคารมากกว่าค่า λ_r (b/t $> \lambda_r$)

ตารางที่ 2.1 ค่าสัดส่วน b/t สำหรับชิ้นส่วนบางในคาน (วิธี *LRFD*)

($E = 2.10\times10^6$ กก./ตร.ซม.)

ชิ้นส่วน	$b/t(ASC/LRFD)$			
	หน้าตัดอัดแน่น (λ_p)		หน้าตัดไม่อัดแน่น (λ_r)	
	F_y	$F_y = 2500$ (กก./ตร.ซม.)	F_y	$F_y = 2500$ (กก./ตร.ซม.)
1.ปลายอิสระ ก.เหล็กฉากเดี่ยว	-	-	$0.45\sqrt{E/F_y}$	13.0
ข.ปีก (หน้าตัดรีด)	$0.38\sqrt{E/F_y}$	11.0	$0.83\sqrt{E/(F_y-700)}$	28.3
ค.ปีก (หน้าตัดเชื่อม)	$0.38\sqrt{E/F_y}$	11.0	$0.95\sqrt{Ek_c/(F_{yf}-1150)}$ *	3.75
ง.เอวของตัวที	-	-	$0.75\sqrt{E/F_y}$	21.7
2. ปลายยึด ก.ปีกที่มีความหนาสม่ำเสมอของหน้าตัดท่อชนิดรีดแผ่นเหล็กประกอบ	$1.12\sqrt{E/F_y}$	32.5	$1.40\sqrt{E/F_y}$	40.6
ข.แผ่นประกบเจาะรู	-	-	$1.86\sqrt{E/F_y}$	53.9
ค.เอวภายใต้แรงอัดเนื่องจากการดัด	$3.76\sqrt{E/F_y}$	109.0	$5.70\sqrt{E/F_y}$ [Δ]	165.2[Δ]
ง.อื่นๆที่รับแรงอัดสม่ำเสมอ	-	-	$149\sqrt{E/F_y}$	43.2
จ.เอวภายใต้แรงอัดและอัดร่วมกัน	เมื่อ $\frac{P_u}{\phi_b P_y} \le 0.125$	$109-\frac{300P_u}{\phi_b P_y}$	$5.70\sqrt{\frac{E}{F_y}}\left(1-\frac{0.74P_u}{\phi_b P_y}\right)$	$165.2-\frac{122P_u}{\phi_b P_y}$

	$3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}}\left(1-\frac{2.75P_u}{\varnothing_b P_y}\right)$ เมื่อ $\frac{P_u}{\varnothing_b P_y}>0.125$ $1.12\sqrt{\frac{E}{F_y}}\left(2.33-\frac{P_u}{\varnothing_b P_y}\right)$ $\geq 1.49\sqrt{E/F_y}$	$75.7-32.5\frac{P_u}{\varnothing_b P_y}$ ≥ 43.2		
ฉ.หน้าตัดกลมกลวงภายใต้การดัด	$D/t=0.07E/F_y$	58.8	$D/t=0.31E/F_y$	260.4

D = เส้นผ่าศูนย์กลางรอบนอก ซม. , t = ความหนา ซม.

Δ = คิดเป็นคานประกอบขนาดใหญ่ (plate girder) เมื่อ $h/t_w > 5.70\sqrt{E/F_y}$

$*k_c=\frac{4}{(h/t_w)^{0.5}}$, $0.35\leq k_c 0.763$

$h=d-2k$ ซม.(สำหรับเหล็กรูปพรรณ)

=ระยะระหว่างปีกบนและล่าง ซม.(สำหรับคานกอบด้วยการเชื่อม)

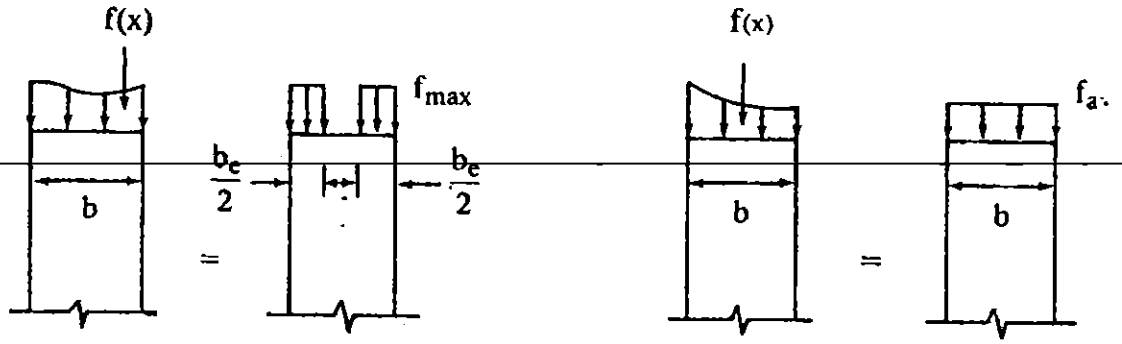
=ระยะระหว่างตัวยึด ซม.(สำหรับคานประกอบด้วยตัวยึด)

k =ระยะจากขอบริมนอกสุดของของปีกถึงจุดโค้งต่อระหว่างปีกและเอว ซม.

(ที่มา : หนังสือพฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก ผู้เขียน ศ.ดร.ทักษิณ เทพชาตรี)

2.2.2 เกณฑ์การออกแบบองค์อาคารรับแรงอัดประเภทหน้าตัดชะลูด

ในกรณีที่ค่า b/t ของชิ้นส่วนใดชิ้นส่วนหนึ่งขององค์อาคารรับแรงอัดมีค่าเกินกว่าค่าที่ระบุไว้ในตารางที่ 2.1 องค์อาคารนั้นจะถูกจัดเป็นองค์อาคารประเภทหน้าตัดชะลูด และการคำนวณออกแบบสามารถทำได้ดังนี้



ก. แผ่นบางปลายยึด (Stiffened) ข. แผ่นปลายอิสระ (Unstiffened)

รูปที่ 2.2 การกระจายของหน่วยแรงอัดในแผ่นบาง

(ที่มา : หนังสือพฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก ผู้เขียน ศ.ดร.ทักษิณ เทพชาตรี)

พิจารณารูปที่ 2.2 ก. สำหรับแผ่นบางที่ปลายมีการยึด จะได้

$$P_u / A_g = A_e f_{\max} / A_g = Q_a f_{\max}$$

และจากรูปที่ 2.2 ข. สำหรับแผ่นบางที่ปลายปราศจากการยึด จะได้

$$P_u / A_g = f_{av}(f_{\max})A_g / (f_{\max} A_g) = Q_s f_{\max}$$

โดยที่ P_u = แรงอัดตามแกนสูงสุด

A_g = เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด

A_e = เนื้อที่หน้าตัดประสิทธิผล

f_u = หน่วยแรงอัดสูงสุด

f_{av} = หน่วยแรงอัด

Q_a = ตัวคูณรูปร่างสำหรับแผ่นบางที่ปลายมีการยึด $= A_e / A_g$

Q_s = ตัวคูณรูปร่างสำหรับแผ่นบางที่ปลายปราศจากการยึด $= f_{av} / f_{\max}$

ดังนั้นแรงอัดสูงสุดของเสาที่ประกอบด้วยแผ่นบางที่ปลายมีการยึด และปราศจากการยึดมีค่าเท่ากับ

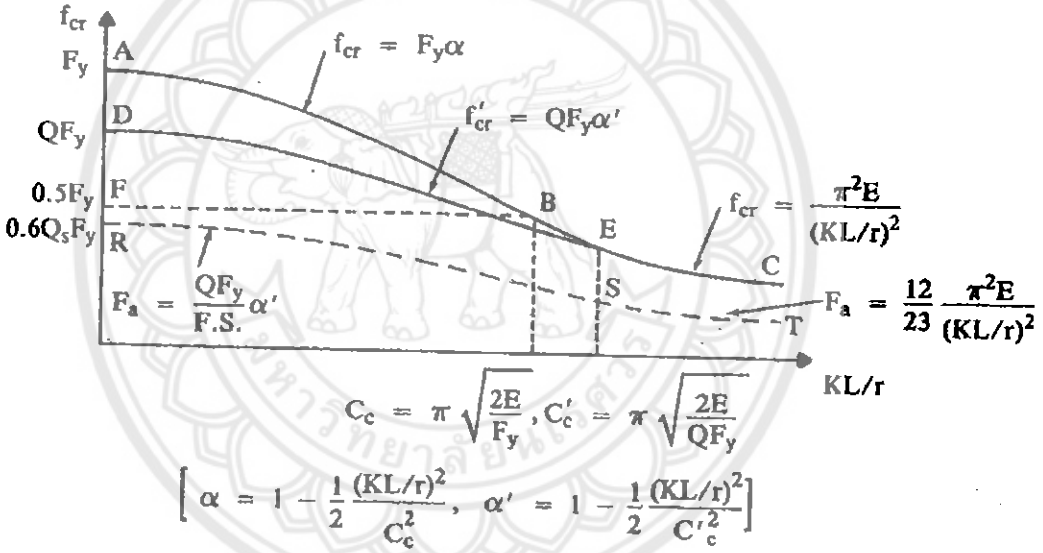
$$P_u = f_{av} A_e$$

หรือ $$P_u / A_g = f_{av}(f_{\max}) A_e / (f_{\max} A_g) = Q_s Q_a f_{\max}$$

$$= Q f_{\max}$$

โดยที่ $$Q = Q_a Q_s$$

จากสมการสามารถกล่าวได้ว่า หน่วยแรงอัดในเสาเนื่องจากการโก่งเดาะเฉพาะที่ มีค่าลดลงตามสัดส่วนของค่าตัวคูณ Q ดังแสดงในรูป 2.3



รูปที่ 2.3 กำลังของเสาประเภทหน้าตัดชะลูด

(ที่มา : หนังสือพฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก ผู้เขียน ศ.ดร.ทักษิณ เทพชาตรี)

ตารางที่ 2.2 ค่าตัวคูณรูปร่างสำหรับแผ่นบางที่ปลายปราศจากการยึดติด (Q_s)

(วิธี LRFD)($E = 2.10 \times 10^6$ กก./ตร.ซม.)

ชิ้นส่วน	b/t		Q_s	
	F_y	F_y = 2500 กก./ตร.ซม.	F_y	F_y = 2500 กก./ตร.ซม.
- เหล็กฉากเดี่ยว	$0.45\sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{b}{t} < 0.91\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $\frac{b}{t} \geq 0.91\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$13.0 < \frac{b}{t} < 26.4$ $\frac{b}{t} \geq 26.4$	$1.340 - 0.76\left(\frac{b}{t}\right)\sqrt{\frac{F_y}{E}}$ $0.53E/[F_y(\frac{b}{t})^2]$	$1.340 - 0.026\left(\frac{b}{t}\right)$ $445/(\frac{b}{t})^2$
- ปีก เหล็กฉาก และแผ่นบางที่ยื่นจากคานหรือเสา หรือองค์อาคารรับแรงอัดอื่น ๆ ที่เป็นเหล็กรูปพรรณ	$0.56\sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{b}{t} < 1.03\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $\frac{b}{t} \geq 1.03\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$16.2 < \frac{b}{t} < 29.8$ $\frac{b}{t} \geq 29.8$	$1.415 - 0.74\left(\frac{b}{t}\right)\sqrt{\frac{F_y}{E}}$ $0.69\ E/[F_y(b/t)^2]$	$1.415 - 0.026\left(\frac{b}{t}\right)$ $580/(b/t)^2$
- ปีก เหล็กฉาก และแผ่นบางที่ยื่นจากเสาหรือองค์อาคารรับแรงอัดอื่น ๆ ที่เป็นองค์อาคารประกอบ	* $0.64\sqrt{\frac{Ek_c}{F_y}} < \frac{b}{t} < 1.17\sqrt{\frac{Ek_c}{F_y}}$ $\frac{b}{t} \geq 1.17\sqrt{\frac{Ek_c}{F_y}}$	$18.5\sqrt{k_c} < \frac{b}{t} < 33.9\sqrt{k_c}$ $\frac{b}{t} \geq 33.9\sqrt{k_c}$	$1.415 - 0.64\left(\frac{b}{t}\right)\sqrt{\frac{F_y}{k_c E}}$ $0.90\ Ek_c/[F_y(b/t)^2]$	$1.415 - 0.022\left(\frac{b}{t}\right)\sqrt{\frac{I}{k_c}}$ $756k_c/(b/t)^2$
- เอวของตัวที	$0.75\sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{b}{t} < 1.03\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $\frac{b}{t} \geq 1.03\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$21.7 < \frac{b}{t} < 29.8$ $\frac{b}{t} \geq 29.8$	$1.908 - 1.22\left(\frac{b}{t}\right)\sqrt{\frac{F_y}{E}}$ $0.69E/[F_y(b/t)^2]$	$1.908 - 0.042\left(\frac{b}{t}\right)$ $580/(b/t)^2$

* สำหรับหน้าตัด $I: k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$, $0.35 \leq k_c \leq 0.763$, $h = d - 2k$

สำหรับหน้าตัดอื่น : $k_c = 0.763$

(ที่มา : หนังสือพฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก ผู้เขียน ศ.ดร.ทักษิณ เทพชาตรี)

ค่าตัวคูณรูปร่างสำหรับแผ่นบางที่ปลายมีการยึด (Q_a) กำหนดโดยมาตรฐาน ว.ส.ท. เขียนได้ดังนี้

$$Q_a = A_e / A_g$$

โดย A_g = เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด ตร.ซม.

A_e = เนื้อที่หน้าตัดประสิทธิผล ตร.ซม.

$= A_e - \sum(b - b_e)t$

b = ความกว้าง ซม.

b_e = ความกว้างประสิทธิผล ซม.

t = ความหนา ซม.

ตารางที่ 2.3 ค่าความกว้างประสิทธิผล (b_e) (วิธี ASD และ LRFD) (E = 2.10 x 10^6 กก./ตร.ซม.)

ชิ้นส่วน	b_e (AISC/LRFD)**
ปีกของเสาหน้าตัดรูปกล่องสี่เหลี่ยมที่มีความสม่ำเสมอ $(b/t) \geq 1.40\sqrt{\frac{E}{f}}$	$1.91t\sqrt{\frac{E}{f}}\left[1-\frac{0.38}{b/t}\sqrt{\frac{E}{f}}\right]$
ชิ้นส่วนรับแรงอัดทั่วไป $(b/t) \geq 1.49\sqrt{\frac{E}{f}}$	$1.91t\sqrt{\frac{E}{f}}\left[1-\frac{0.34}{b/t}\sqrt{\frac{E}{f}}\right]$
หน้าตัดกลมกลวง เมื่อ $0.11\frac{E}{F_y} < \frac{D}{t} \leq 0.45\frac{E}{F_y}$	$Q = Q_a = \frac{0.038E}{F_y(D/t)} + \frac{2}{3}$

D = เส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอก ซม. , t = ความหนา ซม.

* $f = f_a$ = หน่วยแรงอัดใช้งานที่เกิดขึ้น กก./ตร.ซม. (ASD)

** $f = f_{cr}$ = หน่วยแรงอัดวิกฤตที่เกิดขึ้น กก./ตร.ซม. (LRFD)

(ที่มา : หนังสือพฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก ผู้เขียน ศ.ดร.ทักษิณ เทพชาตรี)

2.2.3 การออกแบบองค์อาคารรับแรงอัดด้วนวิธี LRFD

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}} = \frac{KL}{r\pi}\sqrt{\frac{F_y}{E}} = \text{พาริเตอร์ความชะลูด}$$

มาตรฐาน AISC เลือกใช้ $\lambda_c = 1.5$ เป็นค่ากำหนดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของการโก่งเดาะของเสาดังกล่าว

หน่วยรับแรงอัดวิกฤตในช่วงอิลาสติก

เมื่อ $\lambda_c > 1.5$ เสาจะมีพฤติกรรมการโก่งเดาะในช่วงอิลาสติก

แต่มาตรฐาน AISC ใช้ $F_{cr} = (0.887/\lambda_c^2)F_y$ เมื่อ $\lambda_c > 1.5$

หน่วยรับแรงอัดวิกฤตในช่วงอินอิลาสติก

เมื่อ $\lambda_c \le 1.5$ เสาจะมีพฤติกรรมการโก่งเดาะในช่วงอินอิลาสติก

แต่มาตรฐาน AISC ใช้ $F_{cr} = (0.658/\lambda_c^2)F_y$ เมื่อ $\lambda_c \le 1.5$

2.3 องค์อาคารรับแรงดัดและแรงอัดร่วมกัน

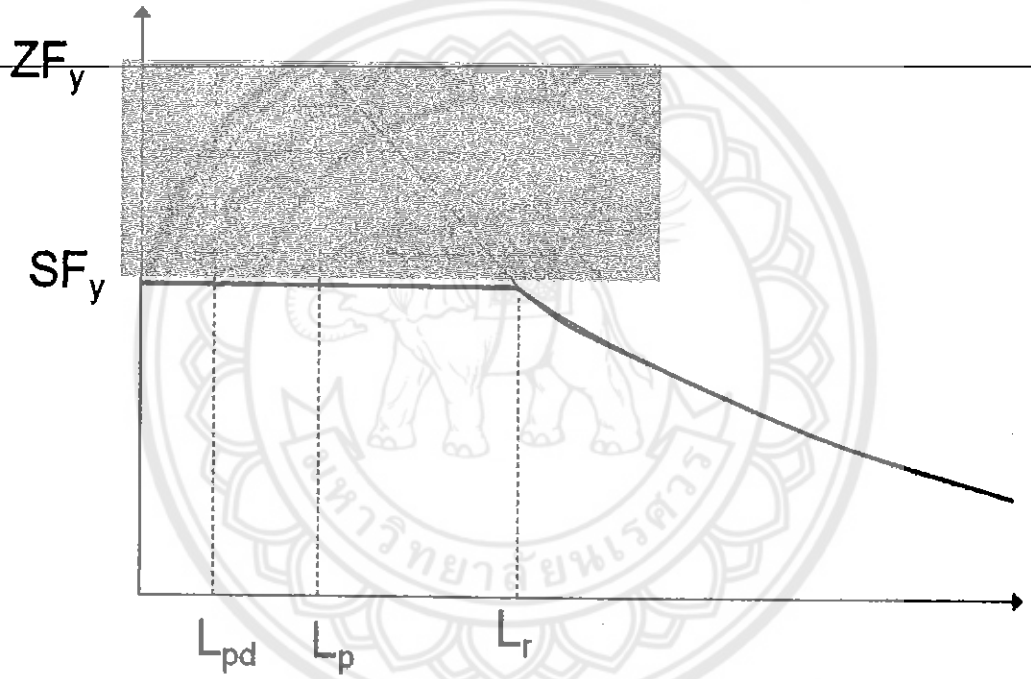
2.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ระบุกับความยาวไร้การยึดด้านข้างของคาน

$L_b < L_r$ กำลังรับแรงอยู่ระหว่าง ZF_y กับ SF_y

$L_b < L_p$ ใช้กำลังรับแรงแบบพลาสติก และวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีอิลาสติก

$L_b < L_{pd}$ ใช้กำลังรับแรงแบบพลาสติก ZF_y และวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีพลาสติก

$L_b > L_r$ กำลังรับแรงน้อยกว่า SF_y



รูป 2.4 แสดงกราฟกำลังรับแรงดัดที่ใช้ในโครงงานนี้

(ที่มา : หนังสือพฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก ผู้เขียน ศ.ดร.ทักษิณ เทพชาตรี)

สำหรับโครงงานนี้ เลือกใช้วิธีการที่ปลอดภัยมากยิ่งขึ้นโดยไม่คำนึงถึงผลของโมเมนต์พลาสติก ดังนี้

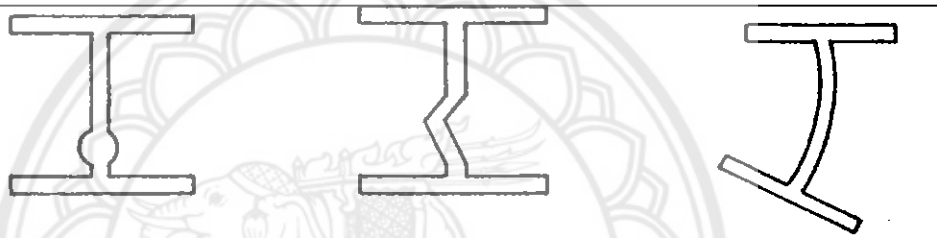
$L_b > L_r$ กำลังรับแรงน้อยกว่า SF_y

$L_b < L_r$ กำลังรับแรงอยู่ระหว่าง ZF_y กับ SF_y

2.3.2 การวิบัติของเอวและปีกภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด

พฤติกรรมการวิบัติของเอวภายใต้แรงกระทำเป็นจุดสามารถเกิดขึ้นได้ 3 กรณี คือการครากเฉพาะที่ของแผ่นเอว (local web yielding) การโก่งของเอว (web crippling) และการโก่งเดาะของแผ่นเอวของข้าง (sidesway web buckling) ดังแสดงในรูป

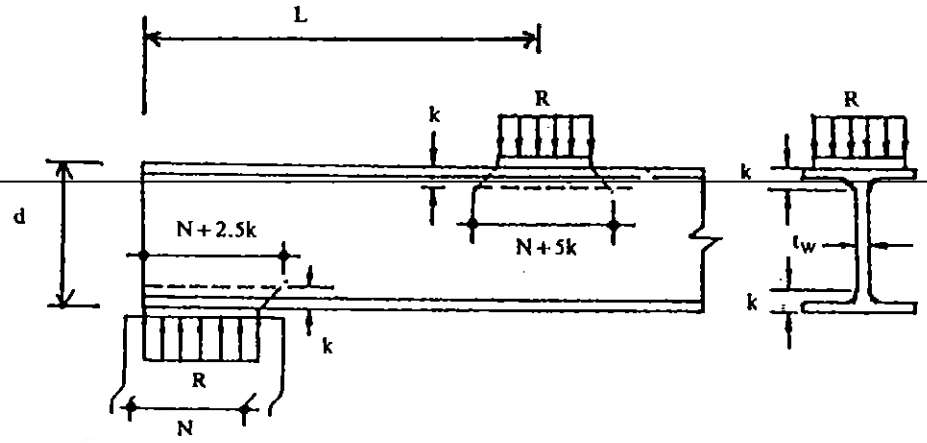
อนึ่งในกรณีการวิบัติเนื่องจากการครากที่เอว มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดให้ความยาวของแผ่นเอวที่รับแรงอัด มีค่า N+ 5k สำหรับแรงกระทำภายใน และ N+ 2.5k สำหรับแรงกระทำที่ปลาย



ก. การครากเฉพาะที่ ข. การโก่ง ค. การโก่งเดาะด้านข้าง

รูปที่ 2.5 ลักษณะการวิบัติภายใต้แรงกระทำเป็นจุด

(ที่มา : หนังสือพฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก ผู้เขียน ศ.ดร.ทักษิณ เทพชาตรี)



รูปที่ 2.6 ตำแหน่งการเกิดการครากของเอว

(ที่มา : หนังสือพฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก ผู้เขียน ศ.ดร.ทักษิณ เทพชาตรี)

2.3.4 ข้อกำหนดสำหรับการออกแบบด้วยวิธี LRFD

AISD / LRFD ได้ใช้สมการต่อไปนี้เพื่อใช้สำหรับการตรวจสอบการวิบัติขององค์อาคาร

ก. เมื่อ $P_u / \varnothing_c P_n \geq 0.2$

$$\frac{P_u}{\varnothing_c P_n} + \frac{8}{9}\left(\frac{M_{ux}}{\varnothing_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\varnothing_b M_{ny}}\right) \leq 1.0$$

ข. เมื่อ $P_u / \varnothing_c P_n < 0.2$

$$\frac{P_u}{2\varnothing_c P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\varnothing_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\varnothing_b M_{ny}}\right) \leq 1.0$$

โดยที่ P_u = แรงอัดตามแกนใช้งานที่เพิ่มค่าแล้ว กก.

P_n = แรงอัด (ภายใต้แรงตามแกนอย่างเดียว) กก.

$\varnothing_c$ = ตัวคูณลดใช้กับองค์อาคารรับแรงอัด = 0.85

M_{nx} = โมเมนต์ระบุรอบแกน X (ภายใต้โมเมนต์อย่างเดียว) กก.ซม.

M_{ux} = โมเมนต์ใช้งานที่เพิ่มค่าแล้วรอบแกน X รวมผล $P\Delta$ (ผลอันดับสอง)

หรือ (เมื่อไม่รวมผล $P\Delta$) กก.ซม.

$\varnothing_b$ = ตัวคูณลดใช้กับองค์อาคารรับแรงดัด = 0.90

M_{ny} = เหมือน M_{nx} แต่กระทำรอบแกน Y

M_{ntx} = โมเมนต์ใช้งานที่เพิ่มค่าแล้วรอบแกน X เมื่อไม่มีการเคลื่อนที่ด้านข้าง

กก.ซม.

M_{ltx} = โมเมนต์ใช้งานที่เพิ่มค่าแล้วรอบแกน X เมื่อคำนึงถึงการเคลื่อนที่

ด้านข้าง กก.ซม.

B_1 = ตัวขยายค่าโมเมนต์วิกฤต เมื่อไม่มีการเคลื่อนที่ด้านข้าง

$$= \frac{C_m}{1 - P_u / P_c} \geq 1.0$$

C_m = ค่าสัมประสิทธิ์จากสมการ $\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \times \frac{C_m}{(1 - f_a / F_e)} \leq 1.0$

P_e = แรงอัดออยเลอร์ $= \frac{\pi^2 EA}{(KL/r)^2}$ กก.

B_2 = ตัวขยายโมเมนต์วิกฤต เมื่อคำนึงถึงการเคลื่อนที่ด้านข้าง

$$= \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{\sum P_e}} \quad \text{หรือ} \quad \frac{1}{1 - \sum P_u (\frac{\Delta_{oh}}{\sum HL})}$$

$\sum P_u$ = ผลรวมของแรงอัดวิกฤตในเสาทุกต้นในชั้นที่กำลังพิจารณา กก.

$\sum P_e$ = ผลรวมของแรงอัดออยเลอร์ในเสาทุกต้นในชั้นที่กำลังพิจารณา กก.

Δ_{oh} = ค่าการโก่งตัวด้านข้างของชั้นที่กำลังพิจารณา ซม.

(ภายใต้น้ำหนักบรรทุกวิกฤตเมื่อใช้แรงด้านข้างวิกฤต, H_u, หรือภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งานเมื่อใช้แรงด้านข้างใช้งาน, H)

$\sum H$ = ผลรวมของแรงด้านข้างในทุกชั้นที่ทำให้เกิดการโก่งตัว Δ_{oh} กก.

L = ความสูงของชั้น

2.3.5 วิธีการออกแบบองค์อาคารรับแรงดัดและแรงอัดรวมกันด้วยวิธี LRFD

เมื่อ $P_u / \varnothing_c P_n \geq 0.2$

$$\frac{P_u}{\varnothing_c P_n} + \frac{8}{9}\left(\frac{M_{ux}}{\varnothing_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\varnothing_b M_{ny}}\right) \leq 1.0$$

คูณตลอดด้วย $\varnothing_c P_n$ ได้

$$P_u + \frac{8}{9}\left(\frac{\varnothing_C P_n}{\varnothing_b M_{nx}}\right) M_{ux} + \frac{8}{9}\left(\frac{\varnothing_C P_n}{\varnothing_b M_{ny}}\right) M_{uy} \leq (\varnothing_c P_n = P_{ueq})$$

ให้ $M_{nx} = Z_x F_y, Z_y F_y, P_n = A_g F_{cr}$

$$P_{ueq} = P_u + \frac{8}{9}\left(\frac{\varnothing_c F_{cr}}{\varnothing_b F_y}\right)\frac{A_g}{Z_x} M_{ux} + \frac{8}{9}\left(\frac{\varnothing_c F_{cr}}{\varnothing_b F_y}\right)\frac{A_g}{Z_y} M_{uy}$$

เมื่อองค์อาคารรับแรงอัดเป็นหลัก

$$P_u = P_u + \frac{2M_{ux}}{d} + \frac{7.5M_{uy}}{b_f}$$

เมื่อองค์อาคารรับแรงดัดเป็นหลัก

$$M_{ueq} = M_{ux} + P_U\left(\frac{d}{2}\right) - M_{UY}\left(\frac{b_f d}{15}\right)$$

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในโครงงาน

ในการพัฒนาโปรแกรมออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็ก ด้วยภาษาวิชวลเบสิกในเอ็กเซล (มาตรฐาน AISC/LRFD) เพื่อให้การคำนวณออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กทำได้สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น ได้ใช้เครื่องมือ และข้อมูลจากหนังสือต่าง ๆ เพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์โครงสร้าง โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์

3.1.2 Microsoft Office Excel 2003

3.1.3 ข้อมูลเหล็กรูปพรรณเหล็ก

3.2 วิธีการดำเนินงาน

ในการดำเนินงานโครงงาน ได้รวบรวมและศึกษาข้อมูลในภาคทฤษฎี เพื่อจะมาใช้ในการพัฒนาโปรแกรมออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็ก ด้วยภาษาวิชวลเบสิกในเอ็กเซล (มาตรฐาน AISC/LRFD) จากนั้นทำการวิเคราะห์และสรุปผลที่ได้จากโปรแกรม ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.2.1 วางแผนลำดับขั้นตอนของการทำงาน

3.2.2 ศึกษาการเขียนโปรแกรมจากหนังสือเจาะลึกการเขียนโปรแกรม VBA (Advanced Excel)

3.2.3 ศึกษาการออกแบบชิ้นโครงสร้างเหล็กโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก(AISC/LRFD)

3.2.4 รวบรวมข้อมูลเหล็กรูปพรรณที่ใช้ในการคำนวณออกแบบ

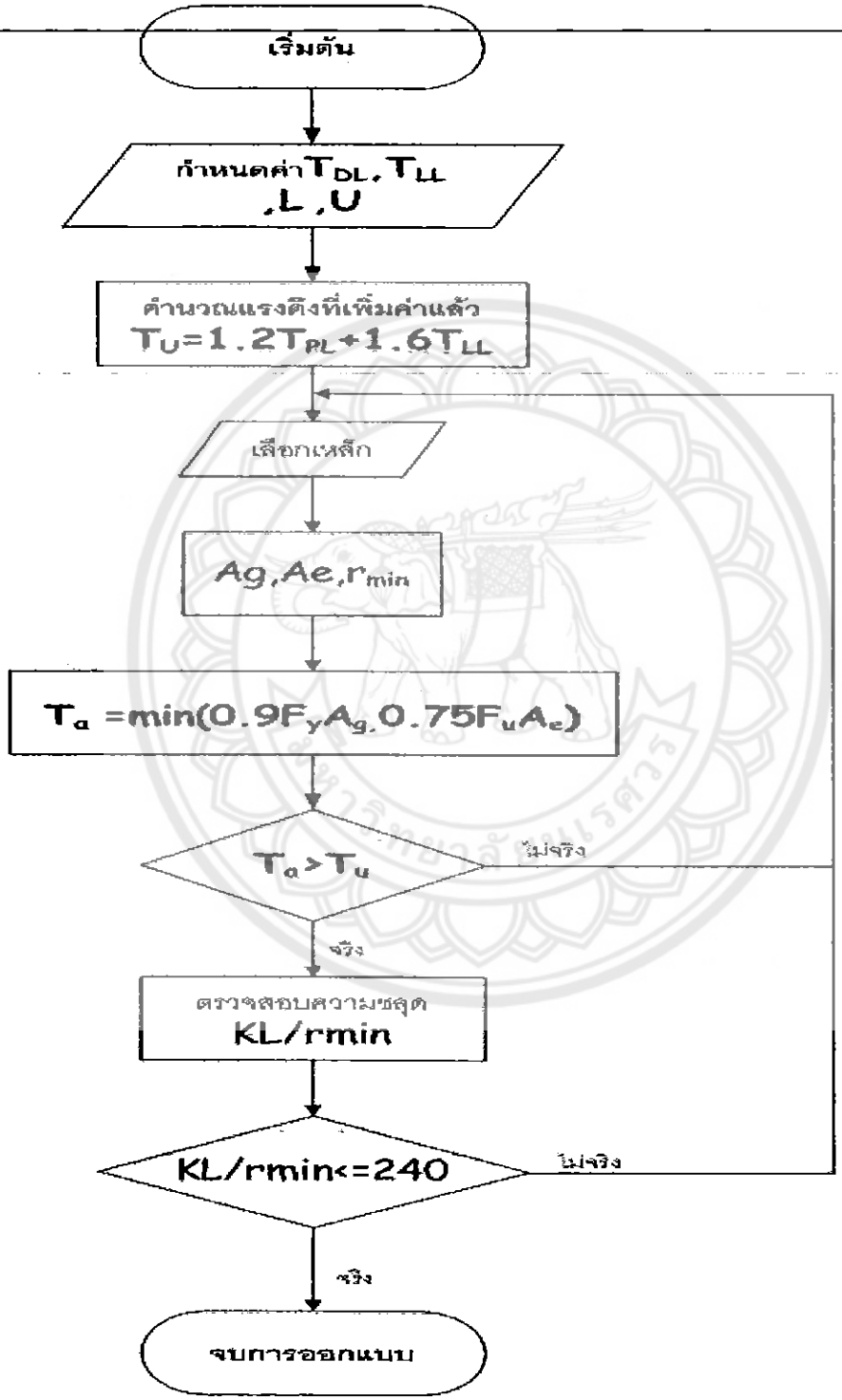
3.2.5 ดำเนินการเขียนพัฒนาโปรแกรม

3.2.6 ใช้โปรแกรมที่พัฒนาคำนวณออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็ก โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD) เทียบกับตัวอย่าง

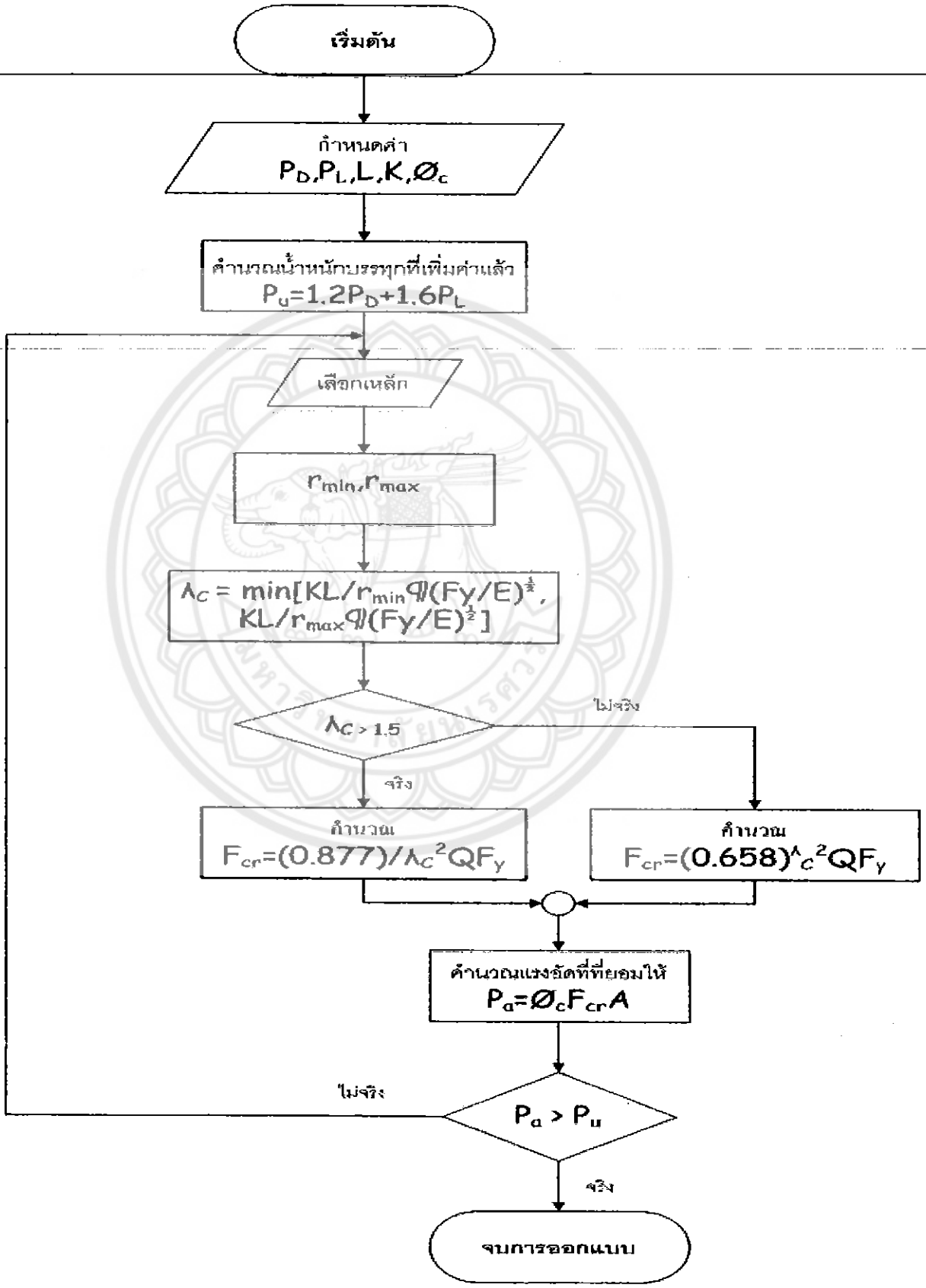
3.2.7 วิเคราะห์สรุปผลในรูปของผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้โปรแกรมเทียบกับตัวอย่าง

3.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

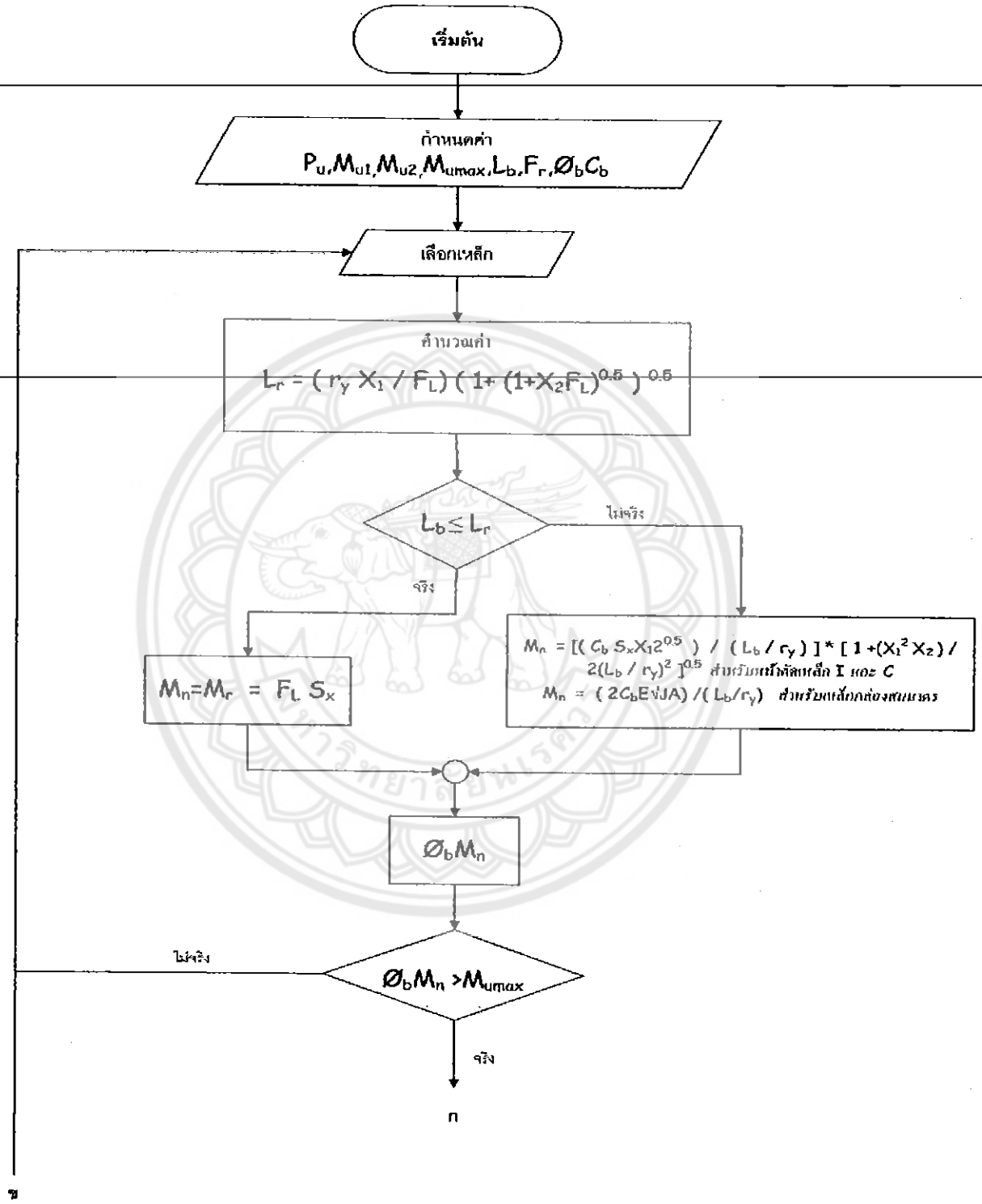
3.3.1 Flow Chart การออกแบบชิ้นส่วนรับแรงดึง

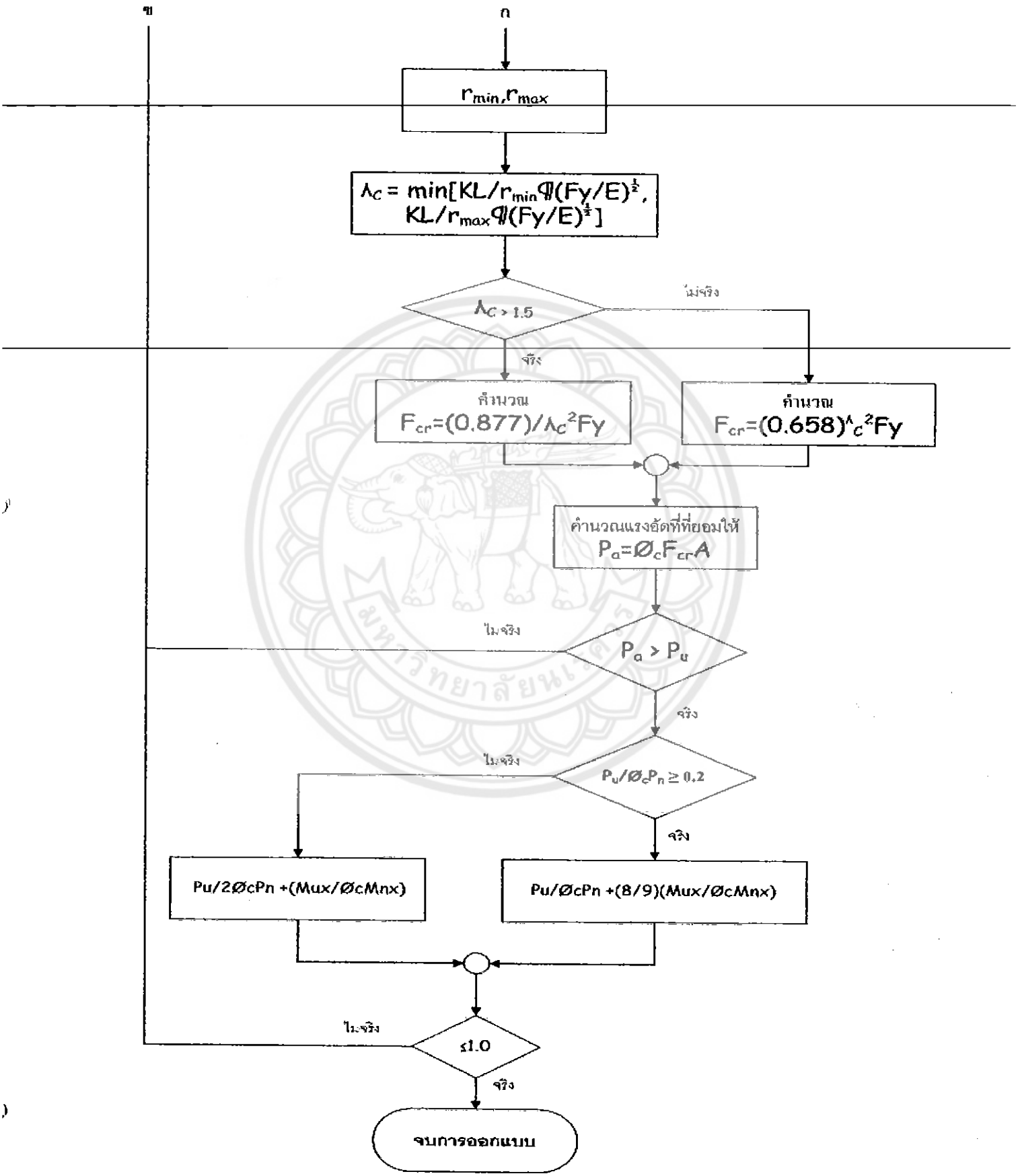


3.3.2 Flow Chart การออกแบบชิ้นส่วนรับแรงอัด



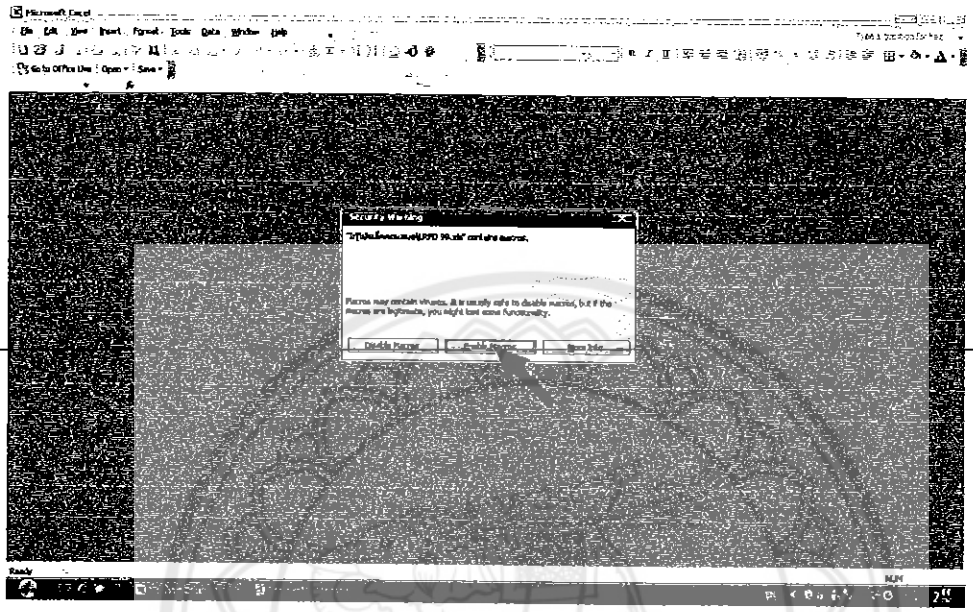
3.3.3 Flow Chart การออกแบบชิ้นส่วนรับแรงอัดร่วมกับแรงดัด




ข
ก
r_{min}, r_{max}
$\lambda_c = \min[KL/r_{min}\sqrt{(Fy/E)^{\frac{1}{2}}}, KL/r_{max}\sqrt{(Fy/E)^{\frac{1}{2}}}]$
$\lambda_c > 1.5$
ไม่จริง
จริง
คำนวณ $F_{cr}=(0.877)/\lambda_c^2 Fy$
คำนวณ $F_{cr}=(0.658)^{\lambda_c^2} Fy$
คำนวณแรงอัดที่ที่ยอมให้ $P_a=\emptyset_c F_{cr} A$
ไม่จริง
$P_a > P_u$
จริง
ไม่จริง
$P_u/\emptyset_c P_n \geq 0.2$
จริง
Pu/2ØcPn +(Mux/ØcMnx)
Pu/ØcPn +(8/9)(Mux/ØcMnx)
ไม่จริง
≤1.0
จริง
จบการออกแบบ

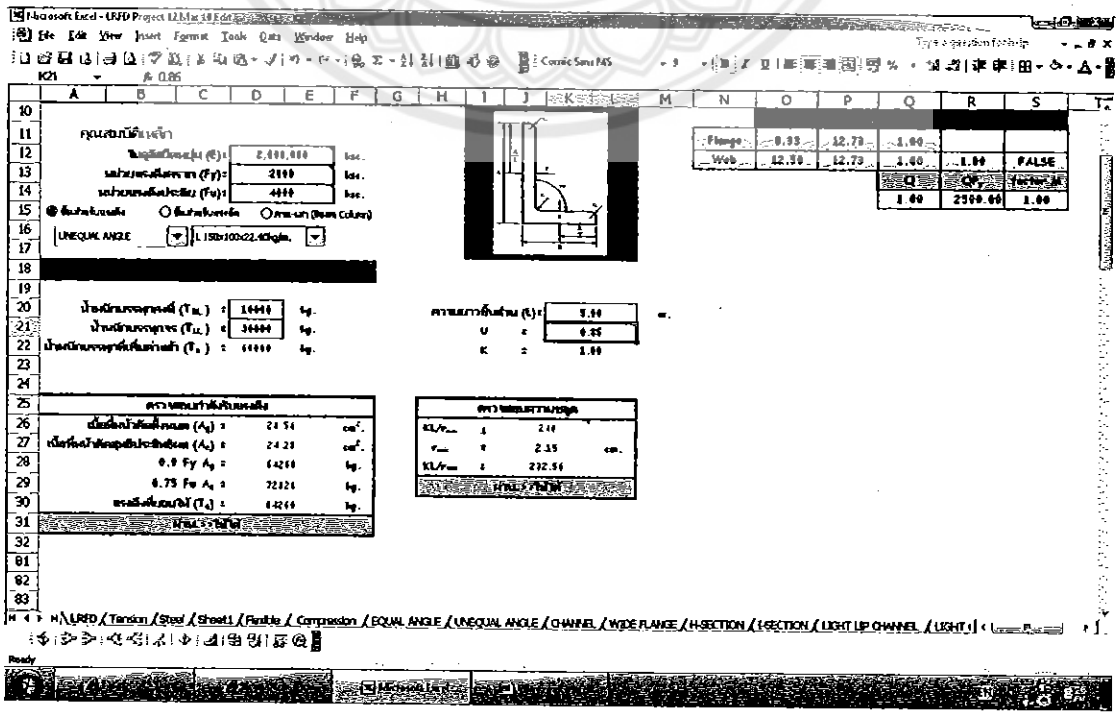
3.4 การใช้โปรแกรม

3.4.1 เลือกเชื่อมต่อแมโคร



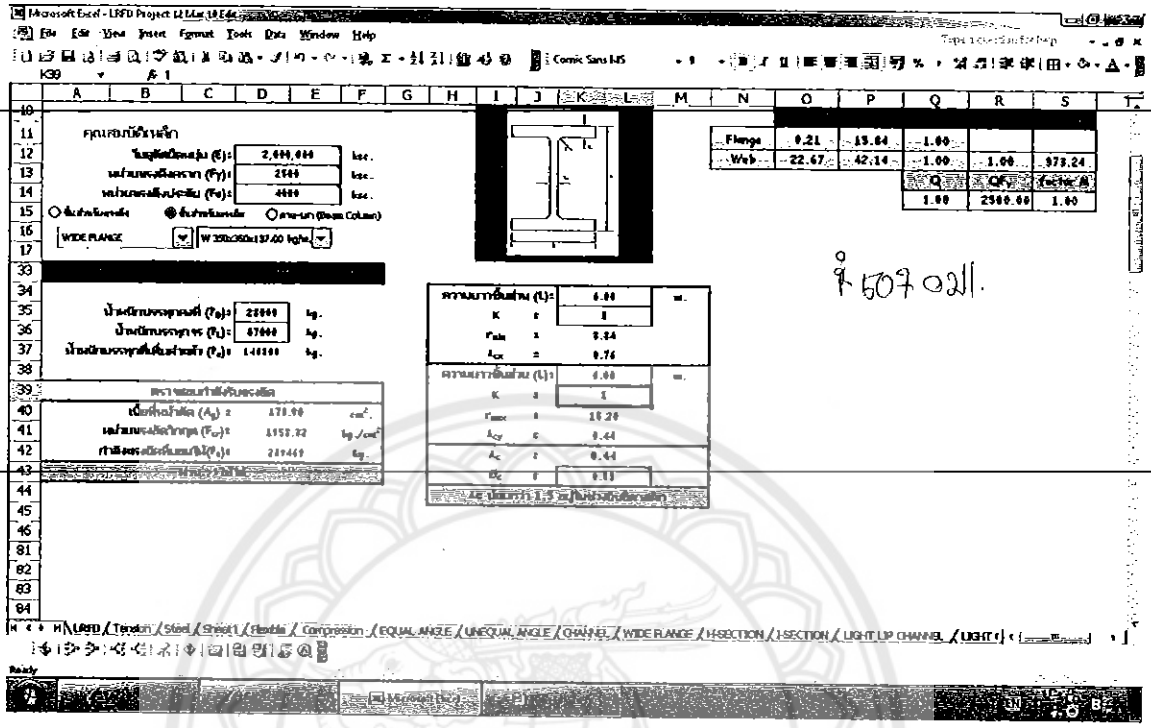
3.4.2 ใส่ค่าแรงดึง แรงอัด ค่าโมเมนต์ และค่าที่ต้องใช้ในการคำนวณการออกแบบชิ้นโครงสร้างเหล็กโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (AISC/LRFD) ช่องใส่ค่า

โปรแกรมคำนวณแรงดึง

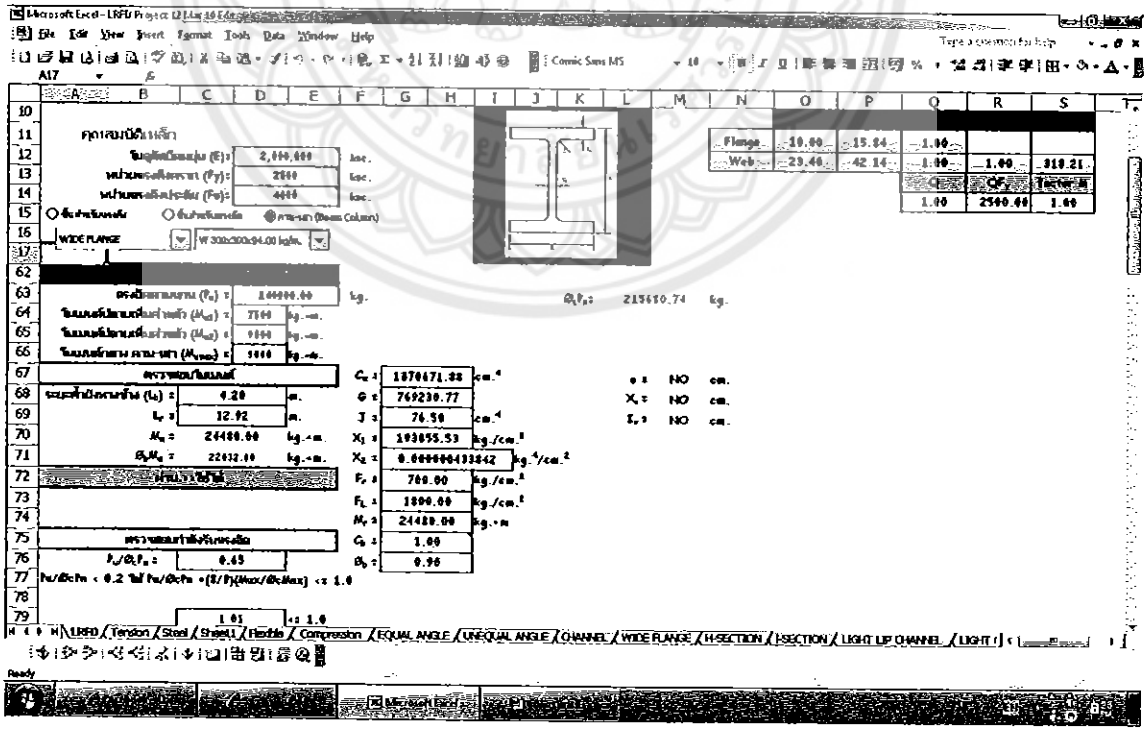


ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปร.
ม 3421
2552
ค.2

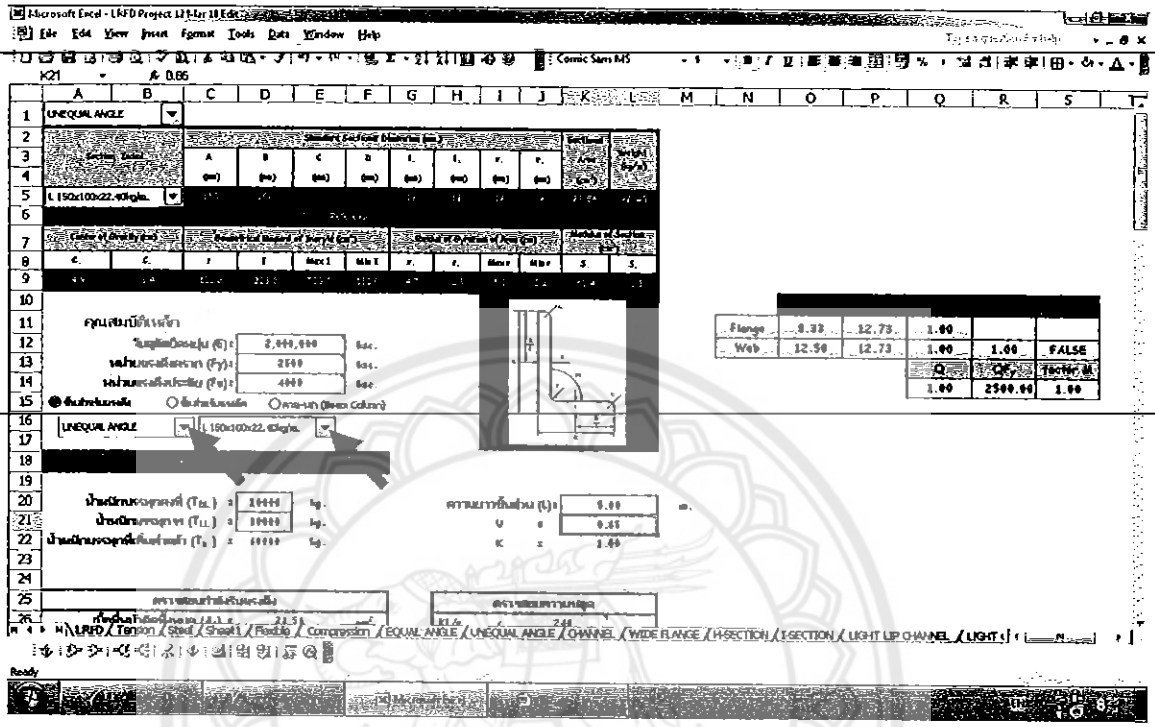
โปรแกรมคำนวณแรงอัด



โปรแกรมคำนวณเสา-คาน

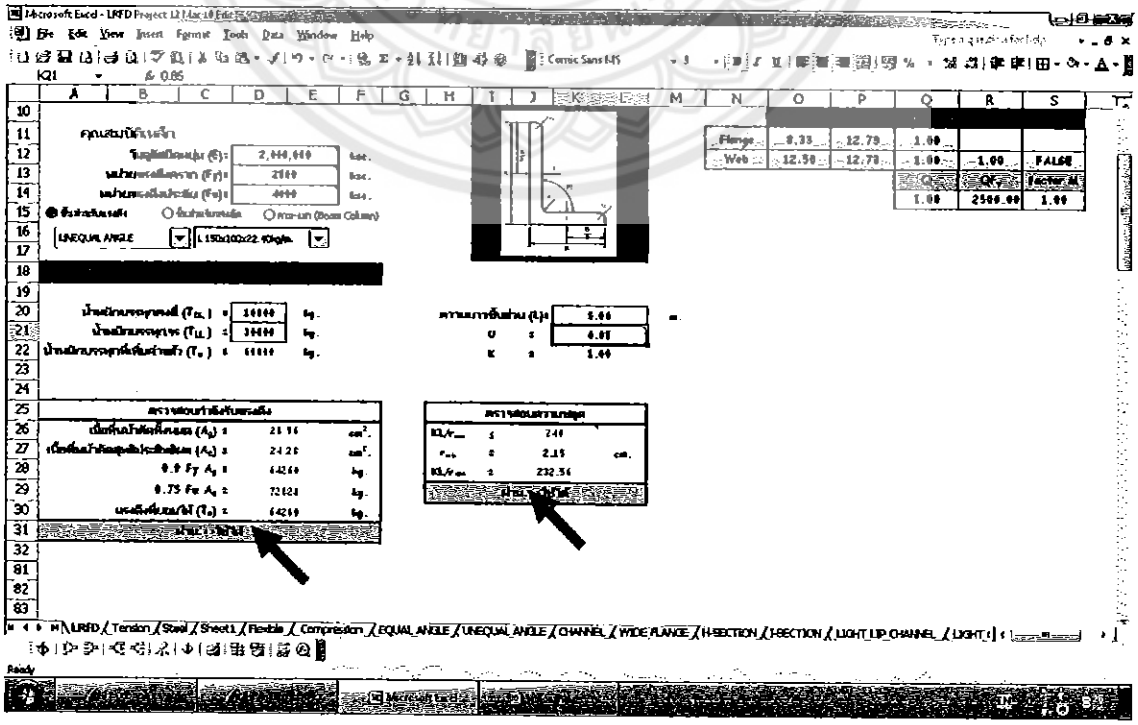


3.4.3 ลือกหน้าตัดเหล็กที่ต้องการคำนวณ

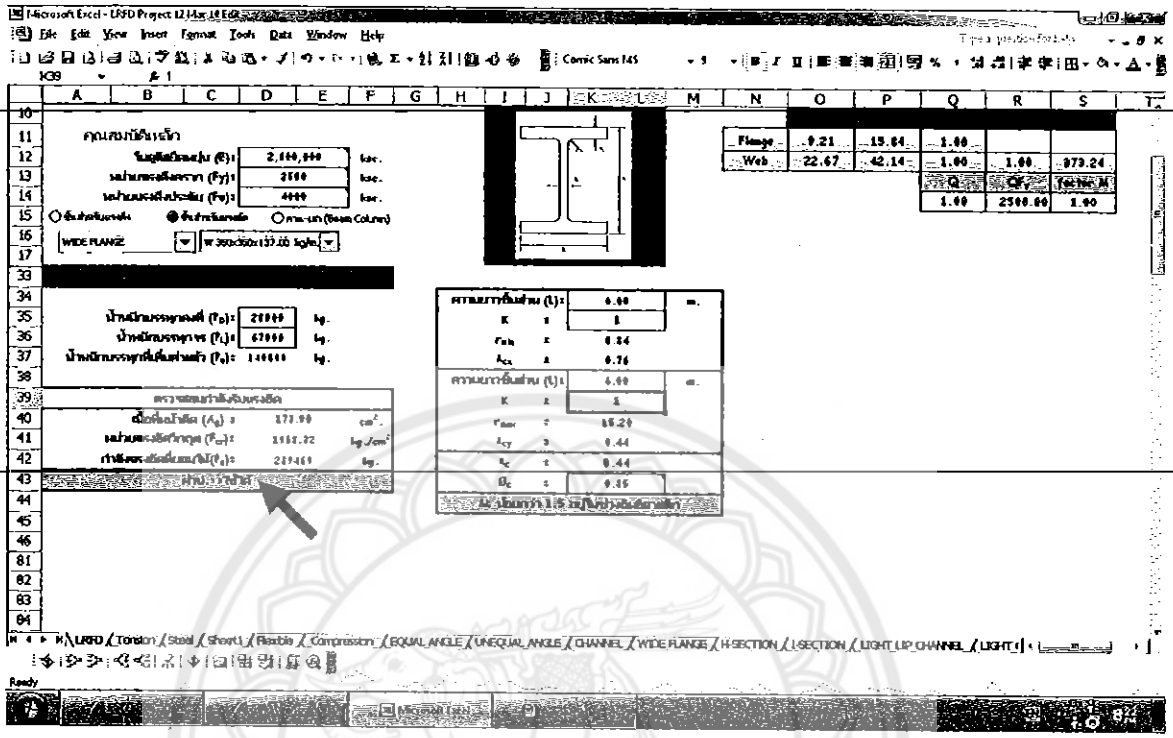


3.4.4 ตรวจสอบผลการคำนวณ

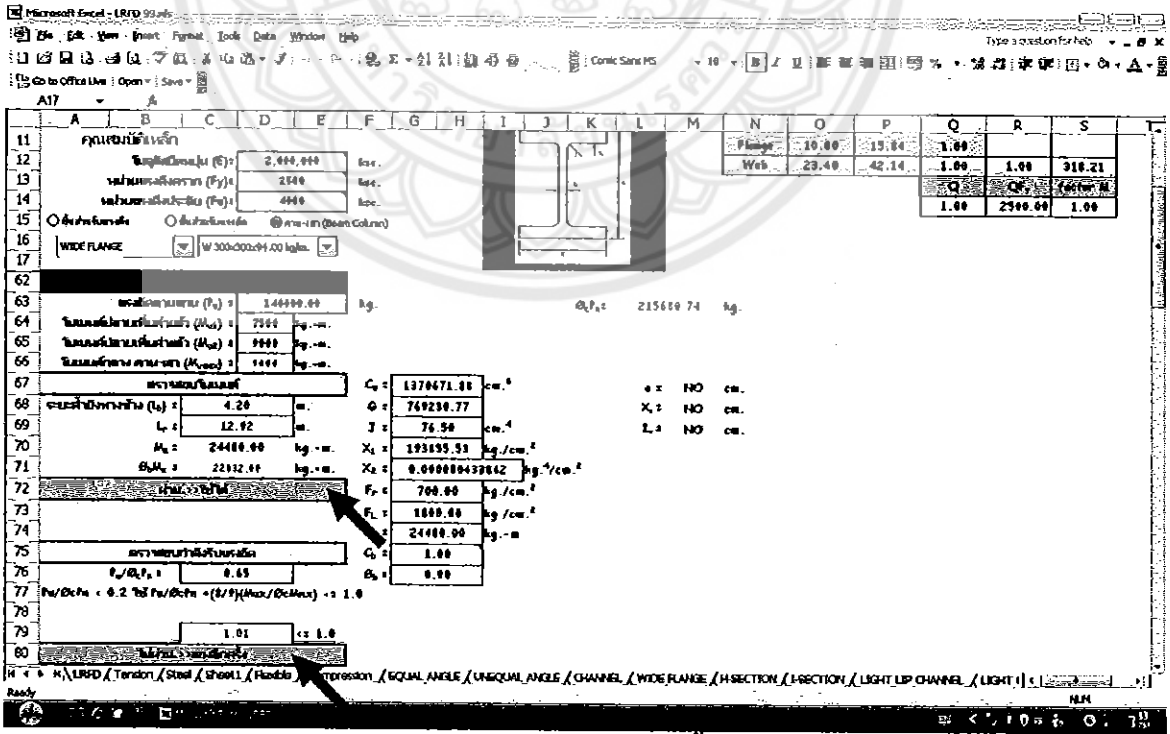
โปรแกรมคำนวณแรงดึง



โปรแกรมคำนวณแรงอัด



โปรแกรมคำนวณแรงอัดร่วมกับแรงดัด



ตรวจสอบการประมวลผลว่า หน้าตัดเหล็กที่ได้เลือกนั้นสามารถรับแรงได้หรือไม่ "ผ่าน" หรือ"ไม่ผ่าน ลองอีกครั้ง"

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการใช้โปรแกรมคำนวณออกแบบชิ้นส่วนรับแรงดึงคำนวณออกแบบตัวอย่าง

4.1 การคำนวณออกแบบคำนวณชิ้นส่วนรับแรงดึง

ตัวอย่าง ให้คำนวณหาค่าแรงดึงที่ยอมให้ด้วยวิธี LRFD เมื่อสมมติว่าการวิบัติแบบเฉือนออกไม่เกิดขึ้น (เนื่องจากเหล็กฉากมีความหนามากพอ) L 150x100x12 มม. เหล็กชนิด A36 (กก./ตร.ซม และ F_u = 4000 กก./ตร.ซม)

วิธีทำ

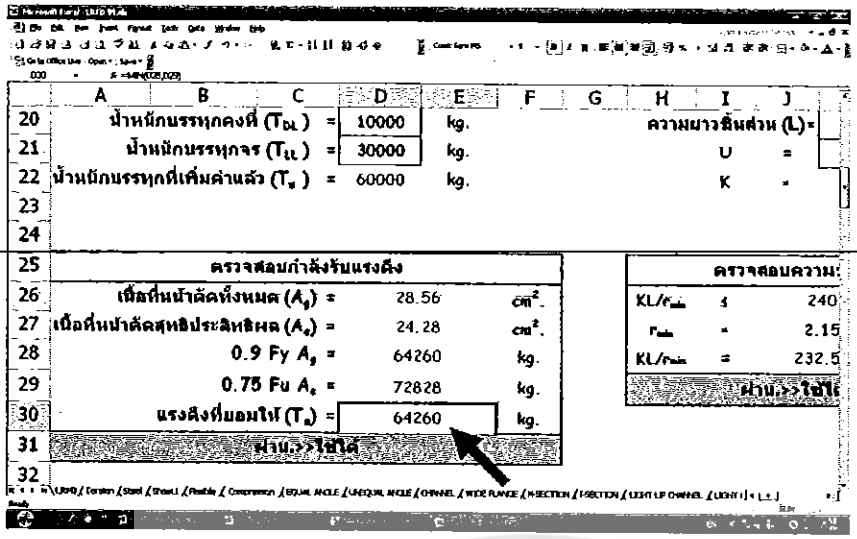
แรงดึงด้วยวิธี LRFD

$$T_u = 0.9F_yA_g$$
$$= 0.9\times 2500\times 28.56$$
$$= 64260 \text{ กก.}$$

$$T_u = 0.75F_uA_e$$
$$= 0.75\times 4000\times 24.28$$
$$= 72828 \text{ กก.}$$

$$T_u = 1.2\times(10000)+1.6(30000)$$
$$T_u = 0.9F_yA_g = 60000 \text{ กก.}$$

ดังนั้น แรงดึงที่เพิ่มค่าแล้วมีค่า 64260 กก.



ค่าที่ได้จากการคำนวณมือ $T_u = 624260$ กก.

ค่าที่ได้จากการใช้โปรแกรม $T_a = 624260$ กก.

แสดงว่าโปรแกรมคำนวณออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กคำนวณได้ถูกต้อง

4.1 การคำนวณออกแบบคำนวณชิ้นส่วนรับแรงอัด

ตัวอย่าง จงหากำลังรับน้ำหนักของเสาขนาด $W350\times136$ โดยใช้วิธี ASD และวิธี LRFD ซึ่งยาว 6.0 เมตร กำหนดให้ปลายทั้งสองข้างของเสาเป็นแบบยึดหมุน ใช้เหล็กชนิด A36 (สมมติ $F_y = 2500$ กก./ซม.^{2}, $E = 2\times10^6$ กก./ซม.^{2})

วิธีทำ $W350\times136$: $A_g = 173.9$ ตร.ซม. , r_{min}=8.84 $r_{min} = 8.84$ ซม.

ตรวจสอบ width-thickness ratio :

$$B_f / 2t_f = \frac{35}{2\times1.9} \qquad = 9.21 < 0.56\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 15.8$$

$$h/t_w = \frac{35-(2\times1.9)}{1.2} \qquad = 26 < 1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 42$$

ตามวิธี LRFD

1. Slenderness Parameter

$$\lambda_c = \frac{KL/r}{\pi}\sqrt{\frac{F_y}{E}} = 0.764 < 1.5 \quad \therefore \textbf{ inelastic buckling}$$

2. หน่วยแรงอัควิกฤต (critical buckling strength) :

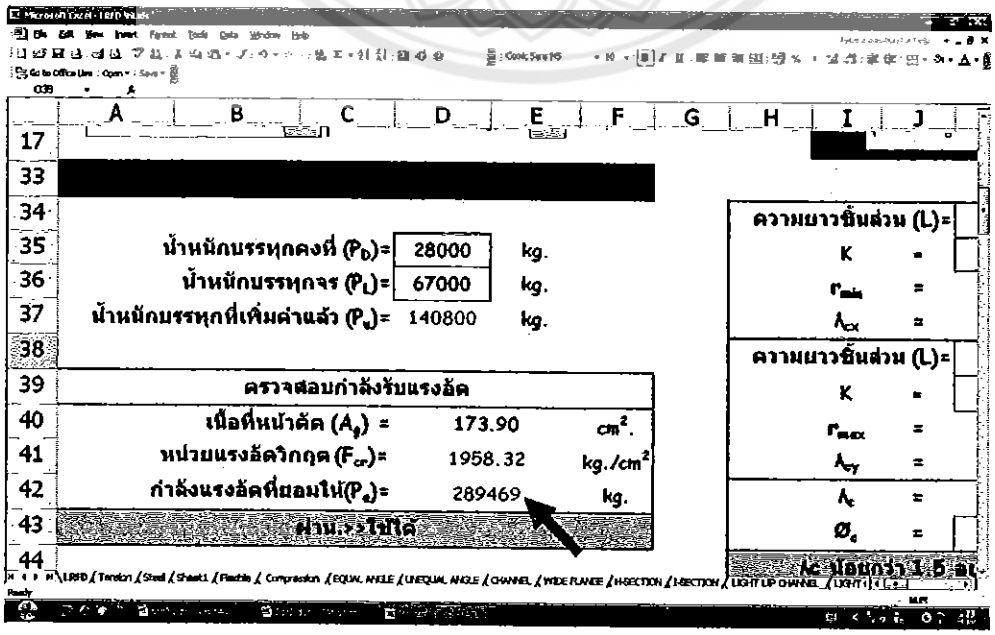
$$F_{cr} = (0.658^{\lambda_c}) \ , \ F_{cr} = (0.658^{0.764})(2500) = 1958 \text{ กก./ตร.ซม.}$$

3. กำลังรับแรงอัดประลัย (design compressive strength) :

$$\varnothing_c P_n = 0.85 F_{cr} A_g = 0.85 \times 1958 \times 173.9 = 289400 \text{ กก.}$$

หมายเหตุ หากเสายาว 12.00 เมตร กำลังรับน้ำหนักของเสาจะลดลงมากกว่าครึ่งหนึ่งของที่ได้ข้างต้น :

ตามวิธี LRFD จะได้ว่า กำลังรับน้ำหนักประลัย $\varnothing_c P_n = 138460$ กก.



ค่าที่ได้จากการคำนวณมือ $\varnothing_c P_n = 289400$ กก.

ค่าที่ได้จากการใช้โปรแกรม $P_a = 289469$ กก.

แสดงว่าโปรแกรมคำนวณออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กคำนวณได้ถูกต้อง

4.3 การคำนวณออกแบบคำนวณชิ้นส่วนรับแรงดึง

ตังอย่าง จงตรวจสอบว่าเสาขนาด $W300\times94$ ในเฟรมที่ไม่เซ (Braced frame) สามารถรับแรงอัดและโมเมนต์คัดที่กระทำรอบแกนหลักอันเนื่องมาจากน้ำหนักใช้งานต่างๆดังรูป ได้หรือไม่ สมมติว่า $K_x k_y = 1$ และใช้เหล็กชนิด A36 (สมมติ $F_y = 2500$ กก./ซม^2)

1.หาแรงและโมเมนต์คัดที่กระทำซึ่งได้จากน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มคำด้วย load factor

$$P_u = 1.2(28) + 1.6(66.5) = 140 \text{ ตัน}$$

$$M_u = 1.2(1500) + 1.6(3562.5) = 7500 \text{ กก.- เมตร ที่ปลายบน}$$

$$M_u = 1.2(1800) + 1.6(4275) = 9000 \text{ กก.- เมตร ที่ปลายล่าง } - M_{01}$$

2.หากำลังรับแรงอัดประลัย $\varnothing_c P_n$ และอัตราส่วนของ $\dfrac{P_n}{\varnothing_c P_n}$

จาก $(\dfrac{KL}{r})_x = 420/13 = 32.3$ และ $(\dfrac{KL}{r})_y = 55.9$

ดังนั้น จาก $(\dfrac{KL}{r})_y = 55.9$ จะได้

กำลังรับแรงอัดประลัย $\varnothing_c P_n = A(\varnothing_c F_{cr}) = 119.8\times1800 = 215640$ กก.

ดังนั้น $\dfrac{P_n}{\varnothing_c P_n} = \dfrac{1400000}{215640} = 0.65 > 0.2$

ฉะนั้น ต้องตรวจสอบการรับแรงร่วมกันด้วยสมการ

$$\frac{P_u}{\varnothing_c P_n}+\frac{8}{9}\left(\frac{M_{ux}}{\varnothing_b M_{nx}}+\frac{M_{uy}}{\varnothing_b M_{ny}}\right)\le 1.0$$

3.หาโมเมนต์ดัดประลัย M_{ux} ที่กระทำเมื่อคิดรวมผลของแรงอัดตามแนวแกน

(P - Δ effect)

$$C_m = 0.6-0.4\left(\frac{M_1}{M_2}\right)=0.6-0.4(-750/9000)=0.933$$

$$\frac{KL_b}{r_b}=\text{ในระนาบที่รับโมเมนต์ดัด }=\left(\frac{KL}{r}\right)_x=420/13=32.3$$

$$P_{el}=\frac{\pi^2(2\times10^6)(119.8)}{(32.3)^2}=2268460 \text{ กก.}$$

Moment magnification Factor $B_1=\dfrac{C_m}{1-(P_u/P_{el})}=\dfrac{0.933}{1-(140000/2268460)}$

$=0.994 < 1.0$ ดังนั้นใช้ $B_1=1$

นั้นคือ $M_{ux}=B_1M_{nt}+B_2M_{lt}=1.0(9000)+0=9000$ กก.-ม.

4. หากำลังรับโมเมนต์ดัดประลัย (desing moment strength : $\varnothing_b M_n$) ของรูปตัด

ตรวจสอบประเภทของหน้าตัด :

Flange : $b_f/2t_f=30/(2\times1.5)=10<\lambda_p=0.38\sqrt{\dfrac{E}{F_y}}$ ($=10.75$)

Web : เนื่องจาก $\dfrac{Pu}{\varnothing bPy}=\dfrac{140000}{0.9(119.8\times2500)}=0.52>0.125$

ดังนั้น $h/t_w=(30-2(1.5))/1.0=27<\lambda_p=1.12\sqrt{\dfrac{E}{F_y}}\left(2.33-\dfrac{P_u}{\varnothing_b P_y}\right)$ ($=57$)

แสดงว่าหน้าตัดเป็นแบบ Compact

หาพิกัดของระยะ L_p และ L_r เพื่อนำไปหากำลังรับโมเมนต์ดัดประลัย ;

$I_y = 6750$ ซม.^{4} $\quad r_y = 7.51$ซม. $\quad S_x = 1360$ ซม.^{3}.

$J = (2b_f t_f^{\,3} + dt_w^{\,3})/3 = (2\times 30\times 1.5^3 + 30\times 1.0^3)/3 = 77.5$ ซม.^{4}

$C_w = I_y d^2/4 = 6750\times 30^2/4 = 1518750$ ซม.^{6}

$A = 119.8$ ซม.^{3}., $G = \dfrac{E}{2.6} = 770000$ กก./ซม.^{2}, $E = 2\times 10^6$ กก./ซม.^{2}

$x_1 = \dfrac{\pi}{S_x}\sqrt{\dfrac{EGJA}{2}} = 195315$ กก./ซม.^{2}

$x_2 = \dfrac{4C_w}{I_y}\left(\dfrac{S_x}{GJ}\right)^2 = 0.467\times 10^{-6}$ (กก.ซม.^{2})$^{-2}$

ฉะนั้น $L_p = 1.76 r_y\sqrt{\dfrac{E}{F_y}} = 373$ ซม.

$L_r = \dfrac{r_y x_1}{F_y - F_r}\sqrt{1+\sqrt{1+x_2(F_y-F_r)^2}} = 1310$ ซม. (ใช้ $F_r = 7000$ กก./ซม.^{2})

แสดงว่า $L_p < L_b = 4.2$ ม. $< L_r$

ดังนั้น โมเมนต์ดัดระบุ $M_n = C_b[M_p - (M_p - M_r)(\dfrac{L_b - L_p}{L_r - L_p})]$

ในที่นี้ $M_p = \dfrac{F_y}{Z_x} = \dfrac{2500\times 1464.75}{100} = 36618$ กก.–ม.

$M_r = (\dfrac{F_y}{F_r})S_x = \dfrac{(2500-700)\times 1360}{100} =$ 24480 กก.–ม.

และ $C_b = \dfrac{12.5M_{max}}{2.5M\max + 3M_A + 4M_B + 3M_C} = \dfrac{12.5\times 9000}{2.5\times 9000 + 3\times 7875 + 3\times 8625}$

= 1.07 (ค่าC_b หาได้โดยการเขียนไดอะแกรมของโมเมนต์ที่เสาต้องรับ)

นั้นคือ $M_n = (1.07)[36618 - (36618 - 24480)(\frac{4.2 - 3.73}{13.1 - 3.73})] = 38530$ กก.-ม.

แต่ปรากฏว่า $M_n > M_p = 36618$ กก.-ม.

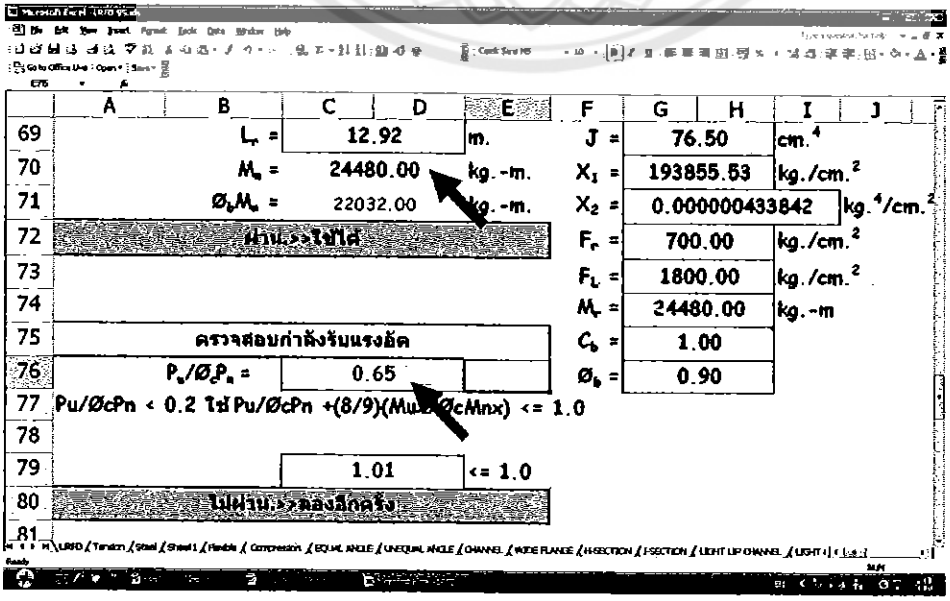
ฉะนั้น กำลังรับโมเมนต์ดัดประลัย $\varnothing_b M_{nx} = \varnothing_b M_p = 0.9 \times 36618 = 32956$ กก.ม.

5. ตรวจสอบการรับแรงร่วมกันด้วยสมการ Interaction

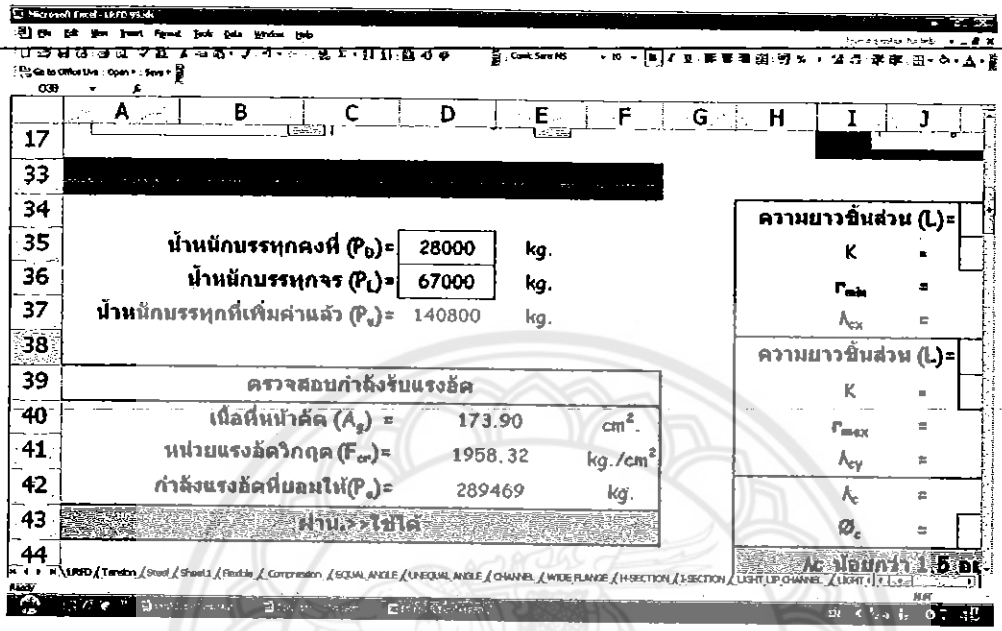
$$\frac{P_u}{\varnothing_c P_n} + \frac{8}{9}(\frac{M_{ux}}{\varnothing_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\varnothing_b M_{ny}}) \le 1.0$$

แทนค่า $0.65 + \frac{8}{9}(\frac{9000}{32956}) = 0.90 < 1.0$

เสาเหล็กรูปพรรณขนาด W 300x94 สามารถรับแรงกระทำดังกล่าวได้



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
69		L_r =	12.92	m.		J =	76.50		$cm.^4$	
70		M_n =	24480.00	kg.-m.		X_1 =	193855.53		$kg./cm.^2$	
71		$\varnothing_b M_n$ =	22032.00	kg.-m.		X_2 =	0.000000433842		$kg.^4/cm.^2$	
72		ผ่าน.>>ใช้ได้				F_r =	700.00		$kg./cm.^2$	
73						F_L =	1800.00		$kg./cm.^2$	
74						M_r =	24480.00		kg.-m	
75		ตรวจสอบกำลังรับแรงอัด				C_b =	1.00			
76		$P_u/\varnothing_c P_n$ =	0.65			$\varnothing_b$ =	0.90			
77	Pu/ØcPn < 0.2 ใช้ Pu/ØcPn +(8/9)(Mux/ØcMnx) <= 1.0									
78										
79			1.01	<= 1.0						
80		ไม่ผ่าน.>>ลองอีกครั้ง								
81										



ค่าที่ได้จากการคำนวณมือ $\frac{P_u}{\emptyset_c P_n} = 0.65$

$$M_c = 24480 \text{ กก.-ม.}$$

ค่าที่ได้จากการใช้โปรแกรม $\frac{P_u}{\emptyset_c P_n} = 0.65$

$$M_r = 24480 \text{ กก.-ม.}$$

เนื่องจากได้กำหนดไว้ว่าเมื่อค่า $L_b \le L_r$ ให้ใช้ค่า $M_n = M_r$ ทันที่เพื่อลดความซับซ้อนในการเขียนโปรแกรมจึงทำให้เหล็กไม่ผ่าน แต่เมื่อเพิ่มขนาดหน้าตัดเหล็กขึ้นอีกเล็กน้อยก็จะทำให้ใช้ได้

แต่อาจจะสิ้นเปลืองเล็กน้อย แต่ก็จะเพิ่มความปลอดภัยมากขึ้น

แสดงว่าโปรแกรมคำนวณออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กคำนวณได้ถูกต้อง

บทที่ 5
วิเคราะห์และสรุปผล

5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้อง

5.1.1 ผู้ใช้โปรแกรมมีความรู้ทางวิชา ออกแบบโครงสร้างเหล็ก และข้อกำหนดตามมาตรฐาน

5.1.2 ผลการคำนวณออกแบบจะขึ้นอยู่กับการป้อนข้อมูลเข้าไปในโปรแกรมดังนั้น จึงควรระมัดระวัง ป้อนให้ถูกต้อง เพราะถ้าป้อนผิดผลของการคำนวณออกแบบก็จะผิดไปด้วย

5.2 สรุปผลการใช้โปรแกรม

จากการใช้โปรแกรมเมื่อผลจากการใช้โปรแกรมได้ค่าออกมาแล้วค่าที่ได้เท่ากับตัวอย่างแสดงว่ามีความถูกต้องตัวโปรแกรมสามารถใช้งานได้จริง

5.3 แนวของการพัฒนาโครงการวิจัย

ในการเลือกหน้าตัดเหล็กยังมีข้อจำกัดในการใช้และจำนวนเหล็กที่สามารถเลือกหน้าตัดได้ยังไม่ครอบคลุมเหล็กที่ใช้งานทั้งหมด ดังนั้นควรพัฒนาโปรแกรมให้สามารถคำนวณและเลือกหน้าตัดเหล็กได้มากขึ้นให้ครอบคลุมกับการใช้งานจริง

บรรณานุกรม

1. ทักษิณ เทพชาตรี. พฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก(ASD , PD , LRFD) .
   แก้ไขปรับปรุงครั้งที่ 2 : ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี , 2542.
2. วินิต ช่อวิเชียร์. การออกแบบโครงสร้างเหล็ก(มาตรฐาน AISD / ASD / LRFD) .
   แก้ไขปรับปรุงครั้งที่ 2 : ศาสตราจารย์ ดร. วินิต ช่อวิเชียร , 2550.
3. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก , 2551

ภาคผนวก

[Source Code]

```
Sub SectionsType()
iRx = ActiveCell.Row
iCx = ActiveCell.Column
Select Case Range("B1").Value
Case 1
ActiveSheet.Shapes("group 325").ZOrder
msoBringToFront
Application.Run "EqualAngle"
Case 2
ActiveSheet.Shapes("group 323").ZOrder
msoBringToFront
Application.Run "Channel"
Case 3
ActiveSheet.Shapes("group 339").ZOrder
msoBringToFront
Application.Run "WideFlange"
Case 4
ActiveSheet.Shapes("group 327").ZOrder
msoBringToFront
Application.Run "HSection"
Case 5
ActiveSheet.Shapes("group 329").ZOrder
msoBringToFront
Application.Run "ISection"
Case 6
ActiveSheet.Shapes("group 333").ZOrder
msoBringToFront
Application.Run "LightLipChannel"
Case 7
ActiveSheet.Shapes("group 331").ZOrder
msoBringToFront
Application.Run "LightChannel"
Case 8
ActiveSheet.Shapes("group 321").ZOrder
msoBringToFront
Application.Run "CarbonSteelSquare"
Case 9
ActiveSheet.Shapes("group 335").ZOrder
msoBringToFront
Application.Run "CarbonSteelTubes"
Case 10
ActiveSheet.Shapes("group 337").ZOrder
msoBringToFront
Application.Run "UnEqualAngle"
End Select
ActiveSheet.Cells(iRx, iCx).Select
End Sub


Sub EqualAngle()
'
' Macro1 EQUAL ANGLE
'
'
'-------------------------------------
Dim DropDownName(2)
DropDownName(1) = "Drop Down 1"
DropDownName(2) = "Drop Down 2"
For i = 1 To 2
ActiveSheet.Shapes(DropDownName(i)).Select
With Selection
.ListFillRange = "'EQUAL ANGLE'!$B$4:$B$43"
.LinkedCell = "$A$1"
.DropDownLines = 28
.Display3DShading = True
End With
Next i
'-------------------------------------
Range("A5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'EQUAL ANGLE'!R4C1:R100C24,2)"
Range("C5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'EQUAL ANGLE'!R4C1:R100C24,3)"
Range("D5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'EQUAL ANGLE'!R4C1:R100C24,4)"
Range("E5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'EQUAL ANGLE'!R4C1:R100C24,5)"
Range("F5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'EQUAL ANGLE'!R4C1:R100C24,6)"
Range("G5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'EQUAL ANGLE'!R4C1:R100C24,7)"
```

```
Range("H5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'EQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,8)"
Range("I5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'EQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,9)"
Range("J5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'EQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,10)"
Range("K5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'EQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,11)"
Range("L5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'EQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,12)"
Range("A9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'EQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,13)"
Range("B9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'EQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,14)"
Range("C9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'EQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,15)"
Range("D9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'EQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,16)"
Range("E9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'EQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,17)"
Range("F9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'EQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,18)"
Range("G9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'EQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,19)"
Range("H9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'EQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,20)"
Range("I9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'EQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,21)"
Range("J9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'EQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,22)"
Range("K9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'EQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,23)"
Range("L9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'EQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,24)"

End Sub
Sub Channel()
'
' Macro2 CHANNEL
'

'
'-------------------------------------

Dim DropDownName(2)
DropDownName(1) = "Drop Down 1"
DropDownName(2) = "Drop Down 2"

For i = 1 To 2
ActiveSheet.Shapes(DropDownName(i)).Select
With Selection
.ListFillRange = "'CHANNEL'!$B$4:$B$19"
.LinkedCell = "$A$1"
.DropDownLines = 28
.Display3DShading = True
End With
Next i
'-------------------------------------

Range("A5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CHANNEL'!R4C1:R100C24,2)"
Range("C5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CHANNEL'!R4C1:R100C24,3)"
Range("D5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CHANNEL'!R4C1:R100C24,4)"
Range("E5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CHANNEL'!R4C1:R100C24,5)"
Range("F5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CHANNEL'!R4C1:R100C24,6)"
Range("G5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CHANNEL'!R4C1:R100C24,7)"
Range("H5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CHANNEL'!R4C1:R100C24,8)"
Range("I5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CHANNEL'!R4C1:R100C24,9)"
Range("J5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CHANNEL'!R4C1:R100C24,10)"
Range("K5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CHANNEL'!R4C1:R100C24,11)"
Range("L5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CHANNEL'!R4C1:R100C24,12)"
Range("A9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CHANNEL'!R4C1:R100C24,13)"
Range("B9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CHANNEL'!R4C1:R100C24,14)"
Range("C9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CHANNEL'!R4C1:R100C24,15)"
Range("D9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CHANNEL'!R4C1:R100C24,16)"
Range("E9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CHANNEL'!R4C1:R100C24,17)"
Range("F9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CHANNEL'!R4C1:R100C24,18)"
Range("G9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CHANNEL'!R4C1:R100C24,19)"
```

```
Range("H9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CHANNEL'!R4C1:R100C24,20)"
Range("I9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CHANNEL'!R4C1:R100C24,21)"
Range("J9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CHANNEL'!R4C1:R100C24,22)"
Range("K9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CHANNEL'!R4C1:R100C24,23)"
Range("L9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CHANNEL'!R4C1:R100C24,24)"

End Sub
Sub WideFlange()
'
' Macro3 WIDE FLANGE
'
'
'_____
Dim DropDownName(2)
DropDownName(1) = "Drop Down 1"
DropDownName(2) = "Drop Down 2"
For i = 1 To 2
ActiveSheet.Shapes(DropDownName(i)).Select
With Selection
.ListFillRange = "'WIDE FLANGE'!$B$4:$B$79"
.LinkedCell = "$A$1"
.DropDownLines = 28
.Display3DShading = True
End With
Next i
'_____
Range("A5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'WIDE
FLANGE'!R4C1:R100C24,2)"
Range("C5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'WIDE
FLANGE'!R4C1:R100C24,3)"
Range("D5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'WIDE
FLANGE'!R4C1:R100C24,4)"
Range("E5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'WIDE
FLANGE'!R4C1:R100C24,5)"
Range("F5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'WIDE
FLANGE'!R4C1:R100C24,6)"
Range("G5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'WIDE
FLANGE'!R4C1:R100C24,7)"
Range("H5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'WIDE
FLANGE'!R4C1:R100C24,8)"
Range("I5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'WIDE
FLANGE'!R4C1:R100C24,9)"
Range("J5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'WIDE
FLANGE'!R4C1:R100C24,10)"
Range("K5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'WIDE
FLANGE'!R4C1:R100C24,11)"
Range("L5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'WIDE
FLANGE'!R4C1:R100C24,12)"
Range("A9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'WIDE
FLANGE'!R4C1:R100C24,13)"
Range("B9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'WIDE
FLANGE'!R4C1:R100C24,14)"
Range("C9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'WIDE
FLANGE'!R4C1:R100C24,15)"
Range("D9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'WIDE
FLANGE'!R4C1:R100C24,16)"
Range("E9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'WIDE
FLANGE'!R4C1:R100C24,17)"
Range("F9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'WIDE
FLANGE'!R4C1:R100C24,18)"
Range("G9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'WIDE
FLANGE'!R4C1:R100C24,19)"
Range("H9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'WIDE
FLANGE'!R4C1:R100C24,20)"
Range("I9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'WIDE
FLANGE'!R4C1:R100C24,21)"
Range("J9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'WIDE
FLANGE'!R4C1:R100C24,22)"
Range("K9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'WIDE
FLANGE'!R4C1:R100C24,23)"
Range("L9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'WIDE
FLANGE'!R4C1:R100C24,24)"

End Sub
Sub Hsection()
'
' Macro4 H-SECTION
'
'
'_____
Dim DropDownName(2)
DropDownName(1) = "Drop Down 1"
DropDownName(2) = "Drop Down 2"
For i = 1 To 2
ActiveSheet.Shapes(DropDownName(i)).Select
```

```
With Selection
.ListFillRange = "H-SECTION'!$B$4:$B$65"
.LinkedCell = "$A$1"
.DropDownLines = 28
.Display3DShading = True
End With
Next i
'-----------------------------------
Range("A5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'H-SECTION'!R4C1:R100C24,2)"
Range("C5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'H-SECTION'!R4C1:R100C24,3)"
Range("D5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'H-SECTION'!R4C1:R100C24,4)"
Range("E5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'H-SECTION'!R4C1:R100C24,5)"
Range("F5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'H-SECTION'!R4C1:R100C24,6)"
Range("G5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'H-SECTION'!R4C1:R100C24,7)"
Range("H5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'H-SECTION'!R4C1:R100C24,8)"
Range("I5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'H-SECTION'!R4C1:R100C24,9)"
Range("J5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'H-SECTION'!R4C1:R100C24,10)"
Range("K5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'H-SECTION'!R4C1:R100C24,11)"
Range("L5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'H-SECTION'!R4C1:R100C24,12)"
Range("A9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'H-SECTION'!R4C1:R100C24,13)"
Range("B9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'H-SECTION'!R4C1:R100C24,14)"
Range("C9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'H-SECTION'!R4C1:R100C24,15)"
Range("D9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'H-SECTION'!R4C1:R100C24,16)"
Range("E9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'H-SECTION'!R4C1:R100C24,17)"
Range("F9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'H-SECTION'!R4C1:R100C24,18)"
Range("G9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'H-SECTION'!R4C1:R100C24,19)"
Range("H9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'H-SECTION'!R4C1:R100C24,20)"
Range("I9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'H-SECTION'!R4C1:R100C24,21)"
Range("J9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'H-SECTION'!R4C1:R100C24,22)"
Range("K9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'H-SECTION'!R4C1:R100C24,23)"
Range("L9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'H-SECTION'!R4C1:R100C24,24)"

End Sub

Sub Isection()
'
' Macro5 I-SECTION
'
'
'-----------------------------------
Dim DropDownName(2)
DropDownName(1) = "Drop Down 1"
DropDownName(2) = "Drop Down 2"
For i = 1 To 2
ActiveSheet.Shapes(DropDownName(i)).Select
With Selection
.ListFillRange = "I-SECTION'!$B$4:$B$23"
.LinkedCell = "$A$1"
.DropDownLines = 28
.Display3DShading = True
End With
Next i
'-----------------------------------
Range("A5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'I-SECTION'!R4C1:R100C24,2)"
Range("C5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'I-SECTION'!R4C1:R100C24,3)"
Range("D5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'I-SECTION'!R4C1:R100C24,4)"
Range("E5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'I-SECTION'!R4C1:R100C24,5)"
Range("F5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'I-SECTION'!R4C1:R100C24,6)"
Range("G5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'I-SECTION'!R4C1:R100C24,7)"
Range("H5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'I-SECTION'!R4C1:R100C24,8)"
```

```
Range("I5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'I-SECTION'!R4C1:R100C24,9)"
Range("J5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'I-SECTION'!R4C1:R100C24,10)"
Range("K5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'I-SECTION'!R4C1:R100C24,11)"
Range("L5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'I-SECTION'!R4C1:R100C24,12)"
Range("A9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'I-SECTION'!R4C1:R100C24,13)"
Range("B9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'I-SECTION'!R4C1:R100C24,14)"
Range("C9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'I-SECTION'!R4C1:R100C24,15)"
Range("D9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'I-SECTION'!R4C1:R100C24,16)"
Range("E9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'I-SECTION'!R4C1:R100C24,17)"
Range("F9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'I-SECTION'!R4C1:R100C24,18)"
Range("G9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'I-SECTION'!R4C1:R100C24,19)"
Range("H9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'I-SECTION'!R4C1:R100C24,20)"
Range("I9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'I-SECTION'!R4C1:R100C24,21)"
Range("J9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'I-SECTION'!R4C1:R100C24,22)"
Range("K9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'I-SECTION'!R4C1:R100C24,23)"
Range("L9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'I-SECTION'!R4C1:R100C24,24)"

End Sub
Sub LightLipChannel()
'
' Macro6 LIGHT LIP CHANNEL
'
'
'-------------------------------------------
    Dim DropDownName(2)
    DropDownName(1) = "Drop Down 1"
    DropDownName(2) = "Drop Down 2"
    For i = 1 To 2
    ActiveSheet.Shapes(DropDownName(i)).Select
    With Selection
    .ListFillRange = "'LIGHT LIP CHANNEL'!$B$4:$B$45"
    .LinkedCell = "$A$1"
    .DropDownLines = 28
    .Display3DShading = True
    End With
    Next i
'-------------------------------------------
Range("A5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT LIP CHANNEL'!R4C1:R100C24,2)"
Range("C5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT LIP CHANNEL'!R4C1:R100C24,3)"
Range("D5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT LIP CHANNEL'!R4C1:R100C24,4)"
Range("E5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT LIP CHANNEL'!R4C1:R100C24,5)"
Range("F5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT LIP CHANNEL'!R4C1:R100C24,6)"
Range("G5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT LIP CHANNEL'!R4C1:R100C24,7)"
Range("H5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT LIP CHANNEL'!R4C1:R100C24,8)"
Range("I5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT LIP CHANNEL'!R4C1:R100C24,9)"
Range("J5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT LIP CHANNEL'!R4C1:R100C24,10)"
Range("K5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT LIP CHANNEL'!R4C1:R100C24,11)"
Range("L5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT LIP CHANNEL'!R4C1:R100C24,12)"
Range("A9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT LIP CHANNEL'!R4C1:R100C24,13)"
Range("B9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT LIP CHANNEL'!R4C1:R100C24,14)"
Range("C9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT LIP CHANNEL'!R4C1:R100C24,15)"
Range("D9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT LIP CHANNEL'!R4C1:R100C24,16)"
Range("E9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT LIP CHANNEL'!R4C1:R100C24,17)"
Range("F9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT LIP CHANNEL'!R4C1:R100C24,18)"
Range("G9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT LIP CHANNEL'!R4C1:R100C24,19)"
```

```
Range("H9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
LIP CHANNEL'!R4C1:R100C24,20)"
Range("I9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
LIP CHANNEL'!R4C1:R100C24,21)"
Range("J9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
LIP CHANNEL'!R4C1:R100C24,22)"
Range("K9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
LIP CHANNEL'!R4C1:R100C24,23)"
Range("L9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
LIP CHANNEL'!R4C1:R100C24,24)"


End Sub
Sub LightChannel()
'
' Macro7 LIGHT CHANNEL
'
'
'-------------------------------------
Dim DropDownName(2)
DropDownName(1) = "Drop Down 1"
DropDownName(2) = "Drop Down 2"
For i = 1 To 2
ActiveSheet.Shapes(DropDownName(i)).Select
With Selection
.ListFillRange = "'LIGHT CHANNEL'!$B$4:$B$42"
.LinkedCell = "$A$1"
.DropDownLines = 28
.Display3DShading = True
End With
Next i
'-------------------------------------
Range("A5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
CHANNEL'!R4C1:R100C24,2)"
Range("C5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
CHANNEL'!R4C1:R100C24,3)"
Range("D5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
CHANNEL'!R4C1:R100C24,4)"
Range("E5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
CHANNEL'!R4C1:R100C24,5)"
Range("F5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
CHANNEL'!R4C1:R100C24,6)"
Range("G5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
CHANNEL'!R4C1:R100C24,7)"
Range("H5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
CHANNEL'!R4C1:R100C24,8)"
Range("I5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
CHANNEL'!R4C1:R100C24,9)"
Range("J5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
CHANNEL'!R4C1:R100C24,10)"
Range("K5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
CHANNEL'!R4C1:R100C24,11)"
Range("L5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
CHANNEL'!R4C1:R100C24,12)"
Range("A9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
CHANNEL'!R4C1:R100C24,13)"
Range("B9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
CHANNEL'!R4C1:R100C24,14)"
Range("C9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
CHANNEL'!R4C1:R100C24,15)"
Range("D9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
CHANNEL'!R4C1:R100C24,16)"
Range("E9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
CHANNEL'!R4C1:R100C24,17)"
Range("F9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
CHANNEL'!R4C1:R100C24,18)"
Range("G9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
CHANNEL'!R4C1:R100C24,19)"
Range("H9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
CHANNEL'!R4C1:R100C24,20)"
Range("I9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
CHANNEL'!R4C1:R100C24,21)"
Range("J9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
CHANNEL'!R4C1:R100C24,22)"
Range("K9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
CHANNEL'!R4C1:R100C24,23)"
Range("L9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'LIGHT
CHANNEL'!R4C1:R100C24,24)"


End Sub
Sub CarbonSteelSquare()
'
' Macro8 CARBON STEEL SQUARE
'
'
'-------------------------------------
Dim DropDownName(2)
DropDownName(1) = "Drop Down 1"
```

```
DropDownName(2) = "Drop Down 2"
For i = 1 To 2
ActiveSheet.Shapes(DropDownName(i)).Select
With Selection
.ListFillRange = "'CARBON STEEL
SQUARE'!$B$4:$B$57"
.LinkedCell = "$A$1"
.DropDownLines = 28
.Display3DShading = True
End With
Next i
'-----------------------------------
Range("A5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL
SQUARE'!R4C1:R100C24,2)"
Range("C5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL
SQUARE'!R4C1:R100C24,3)"
Range("D5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL
SQUARE'!R4C1:R100C24,4)"
Range("E5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL
SQUARE'!R4C1:R100C24,5)"
Range("F5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON
STEEL SQUARE'!R4C1:R100C24,6)"
Range("G5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL
SQUARE'!R4C1:R100C24,7)"
Range("H5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL
SQUARE'!R4C1:R100C24,8)"
Range("I5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON
STEEL SQUARE'!R4C1:R100C24,9)"
Range("J5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON
STEEL SQUARE'!R4C1:R100C24,10)"
Range("K5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL
SQUARE'!R4C1:R100C24,11)"
Range("L5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL
SQUARE'!R4C1:R100C24,12)"
Range("A9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL
SQUARE'!R4C1:R100C24,13)"
Range("B9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL
SQUARE'!R4C1:R100C24,14)"
Range("C9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL
SQUARE'!R4C1:R100C24,15)"
Range("D9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL
SQUARE'!R4C1:R100C24,16)"
Range("E9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL
SQUARE'!R4C1:R100C24,17)"
Range("F9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON
STEEL SQUARE'!R4C1:R100C24,18)"
Range("G9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL
SQUARE'!R4C1:R100C24,19)"
Range("H9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL
SQUARE'!R4C1:R100C24,20)"
Range("I9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON
STEEL SQUARE'!R4C1:R100C24,21)"
Range("J9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON
STEEL SQUARE'!R4C1:R100C24,22)"
Range("K9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL
SQUARE'!R4C1:R100C24,23)"
Range("L9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL
SQUARE'!R4C1:R100C24,24)"

End Sub
Sub CarbonSteelTubes()
'
' Macro9 CARBON STEEL TUBES
'
'
'-----------------------------------
Dim DropDownName(2)
DropDownName(1) = "Drop Down 1"
DropDownName(2) = "Drop Down 2"
For i = 1 To 2
ActiveSheet.Shapes(DropDownName(i)).Select
With Selection
```

```
.ListFillRange = "'CARBON STEEL TUBES'!$B$4:$B$64"
.LinkedCell = "$A$1"
.DropDownLines = 28
.Display3DShading = True
End With
Next i
'-----------------------------------
Range("A5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL TUBES'!R4C1:R100C24,2)"
Range("C5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL TUBES'!R4C1:R100C24,3)"
Range("D5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL TUBES'!R4C1:R100C24,4)"
Range("E5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL TUBES'!R4C1:R100C24,5)"
Range("F5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL TUBES'!R4C1:R100C24,6)"
Range("G5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL TUBES'!R4C1:R100C24,7)"
Range("H5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL TUBES'!R4C1:R100C24,8)"
Range("I5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL TUBES'!R4C1:R100C24,9)"
Range("J5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL TUBES'!R4C1:R100C24,10)"
Range("K5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL TUBES'!R4C1:R100C24,11)"
Range("L5").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL TUBES'!R4C1:R100C24,12)"
Range("A9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL TUBES'!R4C1:R100C24,13)"
Range("B9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL TUBES'!R4C1:R100C24,14)"
Range("C9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL TUBES'!R4C1:R100C24,15)"
Range("D9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL TUBES'!R4C1:R100C24,16)"
Range("E9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL TUBES'!R4C1:R100C24,17)"
Range("F9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL TUBES'!R4C1:R100C24,18)"
Range("G9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL TUBES'!R4C1:R100C24,19)"
Range("H9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL TUBES'!R4C1:R100C24,20)"
Range("I9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL TUBES'!R4C1:R100C24,21)"
Range("J9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL TUBES'!R4C1:R100C24,22)"
Range("K9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL TUBES'!R4C1:R100C24,23)"
Range("L9").FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R1C1,'CARBON STEEL TUBES'!R4C1:R100C24,24)"

End Sub

Sub UnEqualAngle()
'
' Macro1 EQUAL ANGLE
'
'
'-----------------------------------
Dim DropDownName(2)
DropDownName(1) = "Drop Down 1"
DropDownName(2) = "Drop Down 2"
For i = 1 To 2
ActiveSheet.Shapes(DropDownName(i)).Select
With Selection
.ListFillRange = "'UNEQUAL ANGLE'!$B$4:$B$43"
.LinkedCell = "$A$1"
```

```
.DropDownLines = 5
.Display3DShading = True
End With
Next i
'-----------------------------------
Range("A5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'UNEQUAL ANGLE'!R4C1:R100C24,2)"
Range("C5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'UNEQUAL ANGLE'!R4C1:R100C24,3)"
Range("D5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'UNEQUAL ANGLE'!R4C1:R100C24,4)"
Range("E5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'UNEQUAL ANGLE'!R4C1:R100C24,5)"
Range("F5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'UNEQUAL ANGLE'!R4C1:R100C24,6)"
Range("G5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'UNEQUAL ANGLE'!R4C1:R100C24,7)"
Range("H5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'UNEQUAL ANGLE'!R4C1:R100C24,8)"
Range("I5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'UNEQUAL ANGLE'!R4C1:R100C24,9)"
Range("J5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'UNEQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,10)"
Range("K5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'UNEQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,11)"
Range("L5").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'UNEQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,12)"
Range("A9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'UNEQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,13)"
Range("B9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'UNEQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,14)"
Range("C9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'UNEQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,15)"
Range("D9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'UNEQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,16)"
Range("E9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'UNEQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,17)"
Range("F9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'UNEQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,18)"
Range("G9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'UNEQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,19)"
Range("H9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'UNEQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,20)"
Range("I9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'UNEQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,21)"
Range("J9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'UNEQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,22)"
Range("K9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'UNEQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,23)"
Range("L9").FormulaR1C1 =
"=VLOOKUP(R1C1,'UNEQUAL
ANGLE'!R4C1:R100C24,24)"

End Sub
Sub ShowHideDesign()
'
' Macro12 Macro
' Macro recorded 15/1/2010 by kungsleep
Rows("18:80").Select
Selection.EntireRow.Hidden = True
iType = Range("J15")
Select Case iType
Case 1
Rows("18:32").Select
Case 2
Rows("33:46").Select
Case 3
Rows("47:61").Select
Case 4
Rows("62:80").Select
End Select
Selection.EntireRow.Hidden = False
Range("A17").Select
End Sub
```

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ : นายณัฐพล คำเมืองมูล

วัน/เดือน/ปีเกิด : 6 พฤษภาคม 2530

สถานที่อยู่ปัจจุบัน : บ้านเลขที่ 24/3 หมู่ 8 ตำบลหัวทุ่ง อำเภอลอง จังหวัดแพร่

การศึกษา : มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนลองวิทยา อำเภอลอง จังหวัดแพร่

: ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

ชื่อ : นายวุฒิชัย เมืองมูล

วัน/เดือน/ปีเกิด : 6 กุมภาพันธ์ 2530

สถานที่อยู่ปัจจุบัน : บ้านเลขที่ 80 หมู่ 8 ตำบลศรีถ้อย อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา

การศึกษา : มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนพะเยาพิทยาคม อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา

: ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

ชื่อ : นายอภิชาติ จันทร์คำ

วัน/เดือน/ปีเกิด : 20 มกราคม 2530

สถานที่อยู่ปัจจุบัน : บ้านเลขที่ 215/1 หมู่ 14 ตำบลกลางเวียง อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน

การศึกษา : มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสตรีศรีน่าน อำเภอเมือง จังหวัดน่าน

: ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก